



David Rafael Borges
Lopes

Desenvolvimento de módulos de *hardware* para
aquisição e condicionamento de sinais para a
Indústria 4.0



**David Rafael Borges
Lopes**

**Desenvolvimento de módulos de *hardware* para
aquisição e condicionamento de sinais para a
Indústria 4.0**

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de José Paulo Oliveira Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e de Abílio Manuel Ribeiro Borges, Professor Assistente convidado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

O júri / The jury

Presidente / President

Prof. Doutor Vítor Manuel Ferreira dos Santos

Professor Associado da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (Orientador)

Prof. Doutor João Carlos Prata dos Reis

Professor Auxiliar do Instituto Superior Técnico de Lisboa (Arguente)

Agradecimentos / Acknowledgements

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor José Paulo Santos pela enorme dedicação e disponibilidade demonstrada no acompanhamento feito durante todos os meses de elaboração deste projeto.

Queria também agradecer ao professor Abílio Manuel Ribeiro Borges pela incansável disponibilidade e apoio dado durante a realização deste projeto.

À empresa Renault CACIA pela oportunidade do contacto e desenvolvimento de um projeto a nível industrial. Ao director da fábrica Juan Melgosa, pelo interesse demonstrado no projeto e o impulsionamento que deu ao mesmo. Queria também deixar um especial agradecimento a todos os elementos diretamente envolvidos. Eng. Rui Vasconcelos, Eng. Constantino Pinto, Eng. Diogo Ramos, Eng. António Tavares. O *feedback* transmitido, assim como o enorme acompanhamento e apoio prestados ao longo destes meses foram essenciais para a resolução de inúmeros problemas e para a obtenção deste resultado final.

Aos meus amigos por todos os momentos de divertimento, companheirismo e apoio ao longo de todo o curso.

Por último queria agradecer a toda a minha família, avós, tios, primos e em especial os meus pais pelo incansável apoio e compreensão dados ao longo de um percurso académico que nem sempre se revelou fácil. O vosso apoio foi essencial para conseguir ultrapassar esta etapa da minha vida e me tornar naquilo que sou hoje.

Palavras-chave

Automação, Indústria 4.0, *Internet* das Coisas, Manutenção Preditiva, Sistemas de monitorização, Aquisição de dados, Sinais analógicos

Resumo

Ao longo da história a indústria tem sofrido alterações e evoluções constantes a nível de métodos e processos de fabrico devido a um conjunto de factores que estiveram sempre ligados à inovação tecnológica na área. Com esta evolução surgiram também novas necessidades dentro desta área, de modo a elevar a competitividade das empresas no mundo industrial. Estas visam atingir a maior redução de custos possível através do aumento da eficiência de processos, não só a nível de matéria prima e consumos associados à produção, mas também ao aumento de complexidade dos equipamentos e das interações entre estes numa instalação fabril. A manutenção industrial é atualmente a principal aposta na redução de custos, através da implementação da manutenção preditiva, com o objectivo de prever falhas em equipamentos. Para esse efeito são usados inúmeros sistemas que permitem efetuar a monitorização em tempo real destes equipamentos, permitindo a deteção de falhas e anomalias num curto período de tempo, sendo assim possível fazer um planeamento da intervenção de uma forma atempada e adequada. O uso destes sistemas reflete-se numa grande redução de custos não só na substituição de peças na manutenção, mas principalmente na redução das paragens inesperadas de produção. O projeto em que o presente relatório se insere que tem por objetivo global desenvolver um sistema de monitorização de equipamentos em conjunto com a Renault CACIA, desde a aquisição de dados, até à interface onde os mesmos são expostos. O objetivo final passa por integrar este sistema numa linha pré-definida de modo a eliminar a necessidade de efetuar planos de manutenção de uma forma manual, dando ao operador responsável por esse plano as informações em tempo real e o histórico de leituras dos equipamentos em que o sistema esteja instalado, sem a necessidade de fazer o deslocamento ao local. Para além dos operadores, o sistema terá também grande utilidade para as equipas de manutenção, que poderão planear e agendar as intervenções com antecedência. No âmbito deste relatório de projeto foram desenvolvidas soluções para a aquisição, condicionamento e envio de dados recolhidos do equipamento para uma base de dados, que servem de complemento para um trabalho desenvolvido de forma externa a este relatório com o objectivo de fazer o armazenamento e disponibilização dos dados recolhidos numa interface gráfica. Os resultados finais obtidos superaram as expectativas iniciais, tendo cumprido todos os objetivos delineados para o projeto e recolhido interesse e *feedback* muito positivo por parte de entidades internas ao grupo Renault.

Keywords

Automation; Industry 4.0, Internet of Things, Predictive Maintenance, Monitoring systems, Data acquisition, Analog signals

Abstract

Throughout history industry has undergone changes and constant evolutions in the methods and processes of manufacture due to a set of factors that have always been linked to the technological innovation in the area. With this evolution, new needs have also arisen within this area, in order to raise the competitiveness of companies in the industrial world. These are aimed at achieving the greatest cost reduction possible by increasing process efficiency, not only at raw material and costs associated with production, but also by increasing the complexity of the equipment and the interactions between them in a manufacturing facility. Industrial maintenance is currently the main focus on cost reduction, through the implementation of predictive maintenance, with the aim of predicting equipment failures. For this purpose, a number of systems are used that allow real-time monitoring of these devices, allowing the detection of faults and anomalies in a short period of time, thus making it possible to plan the intervention in a timely and adequate manner. The use of these systems is reflected in a great reduction of costs not only in the replacement of parts in the maintenance, but mainly in the reduction of the unexpected stops of production. The project in which this report is inserted has the overall objective of developing an equipment monitoring system in conjunction with Renault CACIA, from the acquisition of data, to the interface where they are exposed. The final objective is to integrate this system into a predefined line in order to eliminate the need to carry out maintenance plans manually, giving the operator responsible for this plan the real-time information and the history of the equipment readings where the system is installed, without the need to move to the location. In addition to operators, the system will also be very useful for maintenance teams, who can plan and schedule interventions in advance. In the scope of this project report, solutions were developed for the acquisition, conditioning and transmission of data collected from the equipment to a database, which complement a work developed outside this report in order to make the storage and availability of the data collected in a graphical interface. The final results obtained exceeded initial expectations, having fulfilled all the objectives outlined for the project and collected interest and very positive feedback from entities within the Renault group.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objectivos	2
1.3	Estrutura do Documento	2
2	Caracterização da empresa	5
2.1	Grupo Renault	5
2.2	Renault CACIA S.A.	5
2.3	Linha bomba óleo	7
2.3.1	Bomba de óleo de caudal variável	7
2.3.2	Centro de maquinagem Grob BZ 40 LS	9
2.3.3	Layout e sequencia de produção	9
2.3.4	Planos de Manutenção	13
3	Enquadramento teórico e conceitos fundamentais	15
3.1	Manutenção industrial	15
3.1.1	Evolução histórica da manutenção	15
3.1.2	Métodos de manutenção praticados	17
3.1.3	Manutenção industrial na actualidade	19
3.2	Sistemas de monitorização	20
3.2.1	Sistemas SCADA	20
3.3	Indústria 4.0	23
3.3.1	Impacto na indústria	25
3.4	Protocolos e conceitos fundamentais	25
3.4.1	Modelo OSI	25
3.4.2	Protocolo TCP/IP	27
3.4.3	Protocolo S7	28
3.4.4	Snap7	30
3.4.5	Comunicação SPI	30
3.4.6	Optoisolamento	32
4	Enquadramento do projecto	35
4.1	Caracterização do problema	35
4.2	Arquitectura de projecto de monitorização contínua	36

5	Implementação	39
5.1	Diagrama de implementação	39
5.2	Sensores	41
5.2.1	Parâmetros a monitorizar	41
5.3	Protótipos desenvolvidos	43
5.3.1	Circuito de optoisolamento	43
5.3.2	Placa de aquisição de sinais analógicos optoisolada (Arduino/Esp8266)	46
5.3.3	Placa de aquisição de sinais analógicos optoisolada (Raspberry Pi 3/MCP3008)	52
5.3.4	Protótipo de leitura analógica Siemens S7-1200 / Raspberry Pi 3 .	60
5.4	Rede Wi-Fi interna	64
5.5	Servidor web e base de dados	65
5.6	Interface de monitorização	65
5.7	Implementação no centro de maquinação	67
6	Análise de desempenho	69
6.1	Testes laboratoriais	70
6.1.1	Protótipo de leitura analógica Ardino Nano - ESP8266	70
6.1.2	Protótipo de leitura analógica Raspberry Pi 3 - MCP3008	71
6.1.3	Protótipo de leitura analógica Siemens S7-1200 - Raspberry Pi 3 .	71
6.2	Implementação	72
6.2.1	Sensores	72
6.2.2	Siemens S7-1200 - Raspberry Pi 3	72
6.2.3	Rede Wi-Fi interna	73
6.2.4	Servidor de base de dados MySQL, web e interface	73
7	Considerações finais e trabalhos futuros	75
7.1	Considerações Finais	75
7.2	Trabalhos futuros	77
A	Placa de aquisição de sinais analógicos (Arduino e ESP8266)	85
A.1	Hardware	85
A.1.1	Arduino Nano	85
A.1.2	ESP8266	86
A.2	Esquema Electrico	88
B	Placa de Aquisição de Sinais Analógicos (Raspberry Pi3)	91
B.1	Hardware	91
B.1.1	Raspberry Pi 3	91
B.1.2	MCP3008	92
B.2	Esquema electrico	97

Lista de Tabelas

1.1	Redução dos custos através da manutenção preditiva [1]	1
3.1	Camadas do modelo OSI (Adaptado de [2])	26
5.1	Parâmetros a controlar e respectivos limites	42
5.2	Sensores escolhidos e intervalos de funcionamento	42
5.3	Modo bit mais significativo da biblioteca bcm2835	56
5.4	Modos de operação da biblioteca bcm2835 [3]	56
A.1	Características técnicas Arduino Nano (Adaptado de [4])	86
A.2	Características técnicas ESP8266	87
B.1	Pinos do chip MCP3008 [5]	93

Lista de Figuras

2.1	Instalações Renault CACIA [6]	6
2.2	Organização das instalações da Renault CACIA [7]	6
2.3	Linha de produção da bomba de óleo de caudal variável (BOCV) (Adaptado de [8])	7
2.4	Bomba de óleo genérica Renault	8
2.5	Centro de maquinagem Grob BZ 40LS	9
2.6	Elementos constituintes da bomba de óleo de geometria variável em bruto	10
2.7	Mesa do centro de maquinagem Grob BZ 40LS, com suportes para peças .	10
2.8	Corpo principal da bomba de óleo de geometria variável no fim dos processos de maquinagem	11
2.9	Posto de controlo dimensional Bord de Ligne	11
2.10	Organograma da manutenção na Renault CACIA	12
2.11	Manómetros de parâmetros lidos no centro de maquinaria Grob	14
2.12	Folha de parâmetros a controlar e tabela de registo temporal para o plano de manutenção autónoma	14
3.1	Etapas da evolução da manutenção industrial ao longo da história (Adaptado de [9])	17
3.2	Ciclo de funcionamento da manutenção preditiva [10]	19
3.3	Arquitectura comum de um sistema SCADA[11]	21
3.4	Arquitectura exemplo de sistema OPC[12]	22
3.5	Cronograma de revoluções industriais[13]	23
3.6	Exemplo da interdependência numa cadeia de produção no contexto da indústria 4.0[13]	24
3.7	Protocolo TCP/IP dentro da arquitectura OSI [14]	27
3.8	Estrutura da mensagem em protocolo S7 [15]	29
3.9	Arquitectura de comunicação servidor cliente no protocolo S7(Adaptado de [15])	30
3.10	Ligações de comunicação SPI(Adaptado de [16])	31
3.11	Diagrama temporal de comunicação SPI[17]	32
3.12	Funcionamento de um optoisolador	33
4.1	Caracterização do problema de consulta de dados dos equipamentos	36
4.2	Arquitetura elaborada para o projeto	37
5.1	Ilha de maquinaria da linha da bomba de óleo de geometria variável (Adaptado de [8])	39
5.2	Diagrama de soluções desenvolvidas	41

5.3	Sinoptico do centro de maquinação Grob BZ 70 LS	43
5.4	Esquema de ligações do opto-isolador IL300	44
5.5	Esquema de ligações simplificadas para IL300	44
5.6	Esquema de ligações do teste de linearidade do chip IL300	45
5.7	Resultados experimentais da calibração do chip IL300	45
5.8	Calibração digital do sinal de saída do circuito de opto-isolamento usando Arduino	46
5.9	Solução Arduino - ESP8266	46
5.10	Divisor de tensão	49
5.11	Fluxograma da solução Arduino com ESP8266	50
5.12	Esquema simplificado de protótipo Arduino Nano / ESP8266	51
5.13	Placa PCB desenvolvida para o protótipo Arduino / ESP8266	52
5.14	Solução Raspberry Pi 3 - MCP3008	52
5.15	Placa de aquisição de sinais analógicos desenvolvida para o protótipo Raspberry Pi 3 / MCP3008	53
5.16	Ligações de comunicação SPI do protótipo Raspberry Pi 3 / MCP3008	54
5.17	Pinos dedicados à escolha do <i>slave</i> da placa de aquisição de sinais analógicos	54
5.18	Placa de alimentação desenvolvida para o protótipo Raspberry Pi 3 / MCP3008	58
5.19	Protótipo Raspberry Pi 3 / MCP3008 completo	58
5.20	Fluxograma do protótipo Raspberry Pi 3 / MCP3008	59
5.21	Protótipo Siemens S7-1200 com Raspberry Pi 3	60
5.22	PLC Siemens S7-1200 com ligação a 12 sensores analógicos	60
5.23	<i>Network</i> com <i>Function Block</i> desenvolvida para o tratamento de sinal analógico recebido no PLC	61
5.24	<i>Network</i> com aplicação de FB de leitura analógica	61
5.25	Configuração do IP do autómato	62
5.26	Parâmetro lido através da função <i>Cli_DBRead()</i>	63
5.27	Fluxograma do protótipo Siemens S7-1200 / Raspberry Pi 3	64
5.28	Interface usada no desenvolvimento do projeto	66
5.29	Sistema de monitorização em funcionamento nas instalações da Renault CACIA	67
6.1	Bancada usada nos testes laboratoriais	69
6.2	Teste laboratorial do protótipo Arduino Nano - ESP8266 desenvolvido	70
6.3	Teste laboratorial do protótipo Raspberry Pi 3 - MCP3008 desenvolvido	71
6.4	Teste laboratorial do protótipo Siemens S7-1200 - Raspberry Pi 3 desenvolvido	72
A.1	Arduino Nano	85
A.2	Pinout Arduino Nano [18]	86
A.3	ESP8266 E12 acoplado em placa de expansão	87
A.4	Pinout ESP8266 E12[19]	87
A.5	Circuito de alimentação do protótipo Arduino - ESP8266	88
A.6	Circuito de entradas analógicas do protótipo Arduino - ESP8266	89
A.7	Circuito de ligações entre <i>hardware</i> do protótipo Arduino - ESP8266	90
B.1	Raspberry Pi 3	91

B.2	Pinout Raspberry Pi 3 (Adaptado de [20])	92
B.3	Pinout MCP3008 (Adaptado de [5])	92
B.4	Timming de comunicação SPI com MCP3008 [5]	94
B.5	Tabela de seleção de entradas analógicas para MCP3008 em modo <i>single-ended</i> (Adaptado de[5])	95
B.6	Diagrama temporal com mensagem enviada para o MCP3008 e respectivos pulsos nos canais SCLK e MOSI	95
B.7	Diagrama temporal com mensagem enviada para o MCP3008 e respectivos pulsos nos canais SCLK e MISO	96
B.8	Circuito de alimentação do protótipo RPi 3 - MCP3008	97
B.9	Circuito de entradas analógicas do protótipo RPi 3 - MCP3008	98
B.10	Circuito de ligações entre <i>hardware</i> do protótipo RPi - MCP3008	99

Lista de Código Fonte

5.1	Código exemplo para leitura de entrada analógica e envio por porta série.	47
5.2	Exemplo de código para leitura de porta série.	48
5.3	Exemplo de código para envio de dados para o servidor com interpretador PHP.	49
5.4	Exemplo de código para comunicação com MCP3008 e aquisição de dados	55
5.5	Exemplo de código para envio de dados para a base de dados MySQL . .	56
5.6	Mensagem enviada para atualização de dados adquiridos e criação de histórico para base de dados MySQL	57
5.7	Função genérica de ligação a um autómato usando a biblioteca snap7.h . .	63
5.8	Função de aquisição de dados de uma dada DB	63

Lista de Acrónimos

AC Alternating Current

ADC Analog to Digital Converter

AES Advanced Encryption Standard

BDL Bord de Ligne

CCITT Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique

CNC Computer Numeric Control

CPHA Chip Phase

CPOL Chip Polarity

CPS Cyber Physical Systems

CUET Chefe de Unidade Elementar de Trabalho

DB Data Block

DC Direct Current

DHCP Dynamic Host Configuration Protocol

GPIO General Purpose Input/Output

HMI Human Machine Interface

IoT Internet of Things

IP Internet Protocol

ISO International Standardization Organization

LED Light Emitting Diode

LVDT Linear Variable Displacement Transducer

MISO Master In / Slave Out

MOSI Master Out / Slave In

MS-CHAPv2 Microsoft Challenge Handshake Authentication Protocol version 2

MTU Master Terminal Unit

OSI Open Systems Interconnection

PCB Printed Circuit Board

PEAP Protected Extensible Authentication Protocol

PLC Programable Logic Controller

PMA Plano de Manutenção autónoma

RAM Random Access Memory

RPi3 Raspberry Pi 3

RPM Revolutions Per Minute

RTU Remote Terminal Unit

SCLK Serial Clock

SoC System on a Chip

SPI Serial Peripheral Interface

SQL Structured Query Language

TCP Transmission Control Protocol

UDP User Datagram Protocol

WPA Wi-Fi Protected Access

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

Desde os primórdios da indústria, com o surgimento da primeira revolução industrial e consequente aparecimento e proliferação de maquinaria que substituiu o trabalho manual, a sua manutenção tem sido uma das principais preocupações para as entidades desta área. Ao longo do tempo, a manutenção tem vindo a registar consideráveis alterações e evoluções, passando de ações de último recurso para planos de manutenção preventiva de modo a evitar paragens. Atualmente a qualidade, flexibilidade e tempo de resposta em casos de necessidade de intervenção assumem um papel especialmente importante nas vantagens competitivas de qualquer empresa na economia global atual[21]. Todos estes fatores conduziram, num passado recente, à introdução de sistemas de monitorização de processos e equipamentos em ambientes industriais, afirmando-se cada vez mais como uma parte extremamente crítica no processo evolutivo de indústrias ligadas à produção, contribuindo para o aumento de competitividade dentro da área, através dos benefícios financeiros retirados não só na redução de custos com a substituição desnecessária de componentes, mas também com a redução do tempo de paragem associado às intervenções de manutenção corretiva[22].

Caminha-se desta forma para uma filosofia de manutenção que visa efetuar um controlo contínuo dos equipamentos fabris, tendo como principal meta a previsão de falhas dos equipamentos. A introdução deste tipo de manutenção acarreta um conjunto de benefícios do ponto de vista económico, representados sob a forma de percentagem na tabela 1.1.

Tabela 1.1: Redução dos custos através da manutenção preditiva [1]

Benefício	Percentagem
Redução dos custos de manutenção	50 a 80 %
Redução de falhas das máquinas	50 a 60 %
Redução de stock de Sobressalentes	20 a 30 %
Redução de horas extra para manutenção	20 a 50 %
Redução do tempo de paragem dos equipamentos	50 a 80 %
Aumento do tempo de vida dos equipamentos	20 a 40 %
Aumento da produtividade	20 a 30 %
Aumento dos lucros	25 a 60 %

1.2 Objectivos

Este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de módulos de hardware de aquisição de dados de equipamentos industriais e fazer o envio para uma base de dados, de maneira a efetuar a visualização através de uma interface gráfica.

A monitorização irá ser utilizada para efeitos de controlo e deteção de falhas nos equipamentos, auxiliando as equipas responsáveis por este tipo de acção dentro da organização. Desta forma, é pretendido que a solução desenvolvida cumpra um conjunto de requisitos essenciais para a aplicação em causa. Será necessário que seja desenvolvida em plataformas com capacidade de ligação Wi-Fi, com robustez para funcionar continuamente em períodos de tempo indeterminados, contornando eventuais problemas na aquisição, processamento e envio de dados até ao servidor da base de dados, mantendo uma taxa de atualização de dados adequada à aplicação em causa. É também pretendido que seja versátil, para que possa ser aplicada em qualquer tipo de equipamento.

Tendo em conta os principais objetivos desta solução, é possível estabelecer-se diversos sub-objetivos para o projeto enquanto um todo:

- Estudo das necessidades de monitorização de equipamentos para a empresa responsável pelo projeto, Renault CACIA;
- Criação de uma arquitetura capaz de cumprir as necessidades levantadas e os requisitos impostos pela estrutura fabril;
- Estudo e seleção das ferramentas adequadas para o desenvolvimento da solução;
- Desenvolvimento da solução de aquisição de dados e monitorização;
- Testes de desempenho à solução implementada;
- Análise dos resultados obtidos.

1.3 Estrutura do Documento

O documento encontra-se dividido num total de sete capítulos e respetivos apêndices.

O primeiro, servindo de introdução, irá abordar a motivação que levou ao desenvolvimento deste projeto de dissertação de Mestrado, o enquadramento do tema escolhido, os objetivos iniciais para o projeto e a presente secção, relativa à estrutura do documento.

O segundo capítulo irá caracterizar a empresa com a qual foi promovida uma parceria para o desenvolvimento deste projeto, a Renault CACIA. Para além das áreas de produção e manutenção desta empresa, irá também ser abordada e caracterizada a linha de produção onde a implementação e respetivos testes foram efetuados.

No terceiro capítulo, será feito um enquadramento dentro do tema da manutenção industrial e sistemas de monitorização, sendo introduzidos alguns conceitos fundamentais para uma melhor perceção dos assuntos abordados restante documento, desde a evolução da manutenção industrial, Indústria 4.0, sistemas opto-isolados, até aos protocolos de comunicação usados nos protótipos.

No quarto capítulo será abordada a arquitetura do projeto de monitorização continua, sendo feita a introdução e caracterização do problema em causa do ponto de vista dos métodos de manutenção, abordando posteriormente os objetivos pretendidos para o projeto e algumas características necessárias nas soluções a implementar.

O quinto capítulo irá englobar a etapa de implementação do projeto. Desde a criação de condições necessárias ao desenvolvimento das soluções, até ao desenvolvimento e implementação das mesmas no equipamento localizado nas instalações fabris.

No sexto capítulo será feita a análise de desempenho das soluções desenvolvidas para o projeto e da implementação feita no terreno.

O sétimo e ultimo capítulo é feito um resumo das considerações gerais retiradas no final da execução e implementação do projeto, e são traçados um conjunto de trabalhos e melhoramentos a implementar no futuro.

Capítulo 2

Caracterização da empresa

2.1 Grupo Renault

Foi a 24 de Dezembro de 1898 que Louis Renault, um dos irmãos fundadores da marca, conduziu pela primeira vez daquele que viria a ser o primeiro veículo produzido pela conhecida marca francesa. Ainda nesse ano é fundada, em conjunto com os seus irmãos Marcel e Fernand a *Société Renault Frères* (Sociedade Irmãos Renault), recebendo um total de 71 encomendas de veículos no ano de fundação. Deste então a empresa seguiu um caminho de crescimento e expansão constante, tendo ao longo da sua história marcado a indústria automóvel com alguns dos seus mais icónicos modelos, atingido o nível de gigante da indústria automóvel e estabelecendo volumes de vendas consideráveis no mercado europeu. Isto deveu-se, em grande parte, ao impacto da marca nas mais diversas vertentes do desporto automóvel, desde a formula 1, aos ralis. O crescimento da marca resultou, em 1999 na criação do grupo Renault, que se baseia numa aliança de cooperação de desenvolvimento de tecnologias com a Nissan e a adição da Dacia ao conjunto de marcas pertencentes ao grupo[23]. No que diz respeito a território nacional, a Renault desde cedo se afirmou como uma marca com um forte impacto no mercado, tendo sido construídas fábricas em Cacia, Setúbal e Guarda, com foco em produção de componentes e montagem de veículos.

2.2 Renault CACIA S.A.

Sediada na cidade de Aveiro, a Renault CACIA, empresa parceira no desenvolvimento do presente projeto de dissertação, tem como base de negócio a produção de componentes para a indústria automóvel. Iniciou a produção a Setembro de 1981, tendo expandido progressivamente a área das suas instalações, contando atualmente com 300 000 m² de área aberta e 70 000 m² de área coberta[6].



Figura 2.1: Instalações Renault CACIA [6]

Atualmente a sua produção é focada em caixas de velocidades e componentes de motor, tais como bombas de óleo (sendo estas produzidas para todo o grupo Renault), árvores de equilibragem, tambores, carters, entre outros. A produção destes dois principais grupos de componentes está dividida fisicamente nas instalações, havendo um pavilhão completamente dedicado à produção de caixas de velocidade e outro aos restantes componentes de motor (Figura 2.2). Toda a produção é destinada a outras fábricas Renault, Dacia e Nissan de montagem de veículos e mecânica espalhadas pelo continente europeu, asiático, sul americano e africano[6]. No ano de 2015 foram registados os seguintes dados:

- 1134 colaboradores;
- Idade média de 40 anos;
- Faturação de 280 600 000 Euros/ano;
- Produção de 562 000 caixas de velocidades/ano;
- Produção de 1 400 000 bombas de óleo/ano;
- 100% da produção para exportação.



Figura 2.2: Organização das instalações da Renault CACIA [7]

2.3 Linha bomba óleo

A linha selecionada para o desenvolvimento do projeto encontra-se inserida no edifício dos componentes dos motores, sendo dedicada à produção de bombas de óleo de geometria variável. A planta da linha encontra-se representada na figura 2.3, sendo constituída por uma ilha com oito centros de maquinagem GROB BZ 40LS, uma máquina de lavar, uma zona para armazenamento de stock intermédio, uma linha de montagem manual da bomba de óleo e um posto de controlo dimensional *Bord de Ligne* (BDL). Existe também, na zona superior da linha, um tapete que efetua o transporte das peças que chegam à linha e que abrange a ilha de maquinagem e a máquina de lavar. Atualmente a linha de montagem está em fase de transição para se tornar completamente automatizada, fazendo uso de sistemas de visão na fase final para efetuar o controlo de qualidade, assegurando que a montagem foi feita sem falhas. Numa das seguintes secções será abordada todo o fluxo de processos da linha de produção de bombas de óleo.

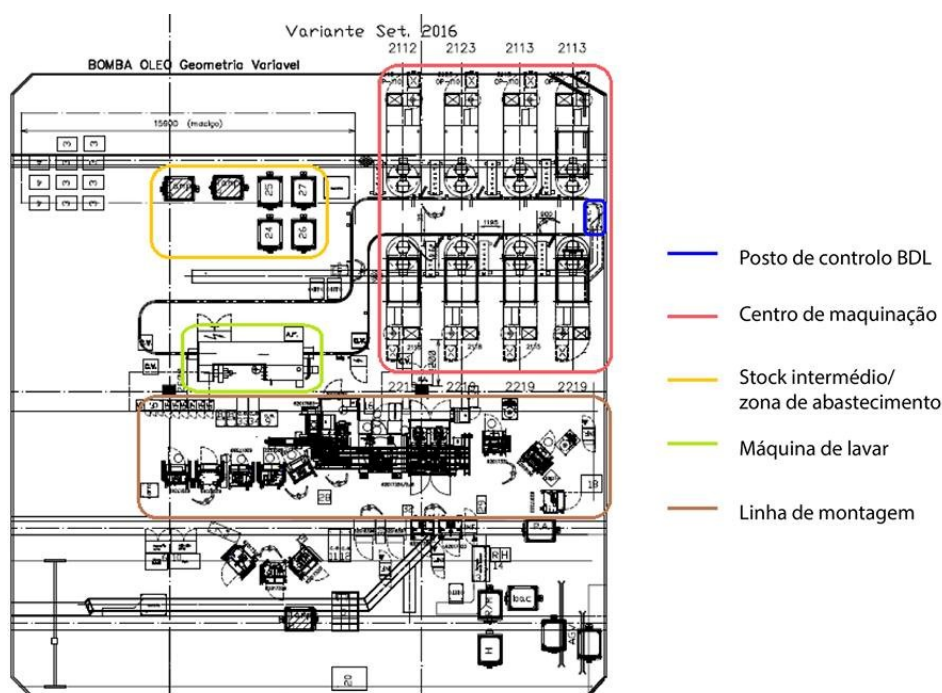


Figura 2.3: Linha de produção da bomba de óleo de caudal variável (BOCV) (Adaptado de [8])

2.3.1 Bomba de óleo de caudal variável

Os motores de combustão interna usados na indústria automóvel, tal como qualquer outro tipo de sistema mecânico que envolva contacto entre partes móveis a alta velocidade, têm como requisito essencial uma correta lubrificação dos referidos componentes internos. Isto justifica-se pelo papel desempenhado pela lubrificação no funcionamento destes sistemas de uma maneira geral, onde para além de garantir uma redução do atrito (e consequentemente do desgaste) entre os componentes móveis com contacto sólido-sólido entre si, evitando anomalias na vedação entre diferentes zonas do motor, contribui também para

o arrefecimento dos componentes internos[24]. Assim torna-se necessário integrar bombas de óleo em sistemas mecânicos deste tipo, efetuando a distribuição interna do fluido lubrificante.

A bomba de óleo de caudal fixo é o tipo de bomba padrão para aplicações desta natureza, sendo o acionamento feito através do movimento rotacional do motor de combustão interna (estando a ligação estabelecida por corrente ou roda dentada), variando a sua velocidade e consequentemente o seu caudal linearmente com as RPM do motor. Apesar do uso generalizado deste tipo de bomba, e dos reduzidos custos de desenvolvimento e produção associados, existem muitos pontos negativos a considerar.

O primeiro ponto negativo prende-se com o facto de o caudal ser fixo, levando a que não exista um controlo sobre o fluxo de lubrificante que circula no sistema em relação ao necessário para o regime de rotação do motor. Isto leva a que seja feito um sobre-dimensionamento durante o desenvolvimento da bomba, para garantir a lubrificação mínima para o regime máximo de rotação.

O segundo ponto está diretamente relacionado com o primeiro, pois devido ao sobre-dimensionamento existirá um excesso de pressão de óleo no sistema, criando perdas de potencia e aumento de consumos do motor, influenciando diretamente os custos de circulação do veículo[25].

Surge assim, com as sucessivas restrições de emissões e consumos impostas por entidades governamentais e de mercado aos fabricantes da indústria automóvel, a necessidade de desenvolver os sistemas de distribuição de lubrificante nos motores de combustão interna. Deste desenvolvimento surgiram no mercado automóvel em 2011 as bombas de óleo de caudal variável, que vieram contornar alguns dos problemas apresentados por anteriores tecnologias. Tal como o nome refere, o caudal nestas bombas é variável, sendo ajustado por um sistema de controlo às reais necessidades do motor para o regime de rotação em que se encontra.

São desta forma minimizadas as perdas energéticas no acionamento do sistema, assim como as cargas desnecessárias na cambota do motor, resultando numa redução de consumos e custos associados à circulação do veículo[25].



Figura 2.4: Bomba de óleo genérica Renault

2.3.2 Centro de maquinagem Grob BZ 40 LS

Para o desenvolvimento do projeto foi facultado por parte da equipa de manutenção da Renault CACIA um dos oito centros de maquinagem Grob Bz40 Ls presentes na linha da bomba de óleo, aproveitando o facto de o mesmo ter sofrido recentemente uma intervenção de revisão e manutenção profunda, estando numa condição o mais próxima possível da que tinha à saída de produção. Assim, serão adquiridos os dados associados às condições de trabalho ideais para este tipo de equipamento, nomeadamente temperaturas, pressões e níveis. O centro de maquinação é constituído pelos eixos principais x , y e z e dois eixos extra: o eixo b referente à mesa e o eixo q referente ao armazém de ferramentas, possuindo assim um total de 5 eixos. Tem um comando numérico Siemens 840C com autómato Siemens S5 integrado e drives de potência Siemens Simodrive 611d.



Figura 2.5: Centro de maquinagem Grob BZ 40LS

2.3.3 Layout e sequencia de produção

O abastecimento da linha é feito com recurso a um veículo tripulado de transporte de cargas, que entrega um conjunto de contentores de peças em bruto. Os brutos, visualizados na figura 2.6 apenas constituem o corpo da bomba (estrutura principal do corpo e tampa), não havendo qualquer tipo de componente mecânico a sofrer operações de maquinagem nesta linha. Estes componentes são inseridos manualmente no tapete de transporte automatizado, sendo distribuídos ao longo dos diferentes centros de maquinação da linha e mais tarde à máquina de lavar. A colocação das peças no suporte da mesa de maquinagem das Grob (figura 2.7) é feita manualmente por operadores da linha, que executam a tarefa inversa no final do processo. Estes operadores são também responsá-

veis pela gestão dos programas executados na máquina, podendo alternar os mesmos se os requisitos de produção assim o exigirem.



Figura 2.6: Elementos constituintes da bomba de óleo de geometria variável em bruto



Figura 2.7: Mesa do centro de maquinagem Grob BZ 40LS, com suportes para peças

Os centros Grob Bz 40 Ls efetuam um total de duas operações de maquinagem nos brutos inseridos na linha (figura 2.6). Apesar de dispor de um total de oito centros, apenas sete estavam em produção à data de realização do projecto, estando três centros a realizar a operação de facejamento OP110 e os restantes quatro a operação de mandrilamento do interior dos furos OP120. Com a realização destas duas operações as peças são encaminhadas para a máquina de lavar, onde serão removidos os detritos provenientes das operações realizadas anteriormente, de modo a serem colocadas numa

zona de armazenamento intermédia, antes de seguirem para a linha de montagem.

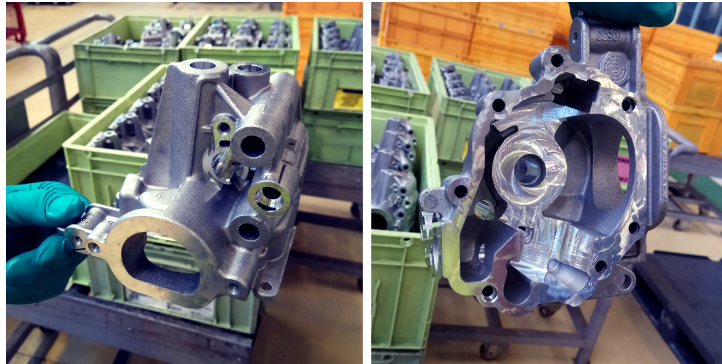


Figura 2.8: Corpo principal da bomba de óleo de geometria variável no fim dos processos de maquinagem

Algumas das peças produzidas são submetidas a controlos dimensionais de cotas, de modo a assegurar e validar a qualidade da série de peças produzidas entre análises. O controlo mais regular é feito por parte do operador através do modo de controlo BDL num posto integrado na linha com equipamento para análise dimensional, através de palpação com sensores LVDT (Linear Variable Displacement Transducer). Estes dispositivos convertem movimentos mecânicos ou vibrações em corrente eléctrica variável, voltagem ou sinais eléctricos que são convertidos para serem usados em sistemas de controlo dimensional (figura 2.9). Existe um segundo controlo dimensional realizado em intervalos de tempo mais distanciados, efetuado por equipamentos de controlo metro-lógico 3D, que possibilitam uma análise dimensional mais rigorosa das tolerâncias das secções maquinadas.

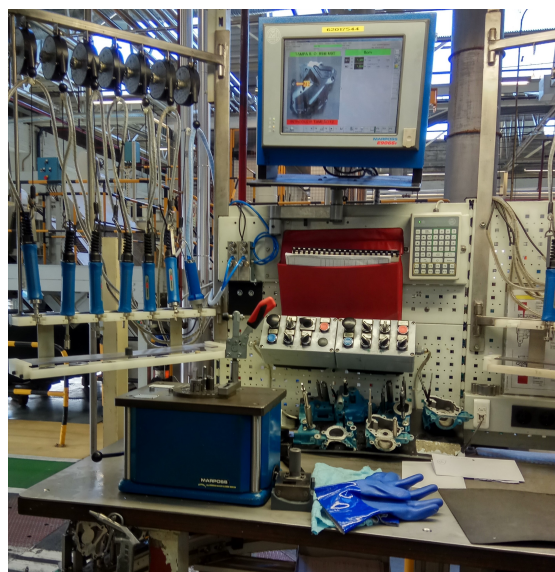


Figura 2.9: Posto de controlo dimensional Bord de Ligne

Equipa de manutenção

A gestão de todos os recursos relacionados com a manutenção de equipamentos dentro das instalações da fábrica fica a cargo de equipas de manutenção constituídas por vários intervenientes, desde eletricistas e mecânicos, a automatistas e fiabilistas, entre outros. No pavilhão onde se localiza a linha usada para este projeto, o responsável máximo pelo departamento de manutenção é o chefe de departamento, que em conjunto com o chefe de atelier garantem que todas as sub equipas tenham as condições necessárias para desempenhar os diferentes papéis na organização dos planos de manutenção. No total existem 3 equipas na estrutura: fiabilistas, chefe de unidade elementar de trabalho (CUET), eletrónica e mecânica. Os fiabilistas efetuam a coordenação e agendamento de intervenções de manutenção que estão previstas, tomando decisões a nível logístico, escolhendo as fases em que a paragem terá o menor efeito possível na produção da linha.

Os CUET têm como função reportar toda e qualquer avaria ou problema nas suas zonas de acção, de modo a que a intervenção seja feita assim que possível. A equipa de eletrotécnica e mecânica tem como função trabalhar em coordenação com a equipa e fiabilistas e CUET, de modo a efetuar as intervenções e resolver os eventuais problemas que possam surgir.

O organograma da estrutura da manutenção encontra-se representado na figura 2.12

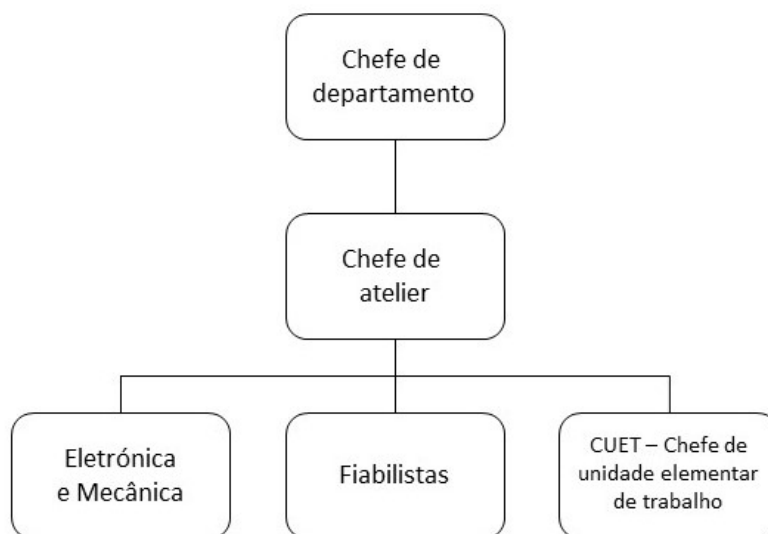


Figura 2.10: Organograma da manutenção na Renault CACIA

2.3.4 Planos de Manutenção

Em qualquer ambiente industrial a manutenção de equipamentos e infraestruturas representa na maioria dos casos um custo indesejado, sendo no entanto uma necessidade essencial [26] para o bom funcionamento e articulação de todas as secções da instalação fabril. Por estar frequentemente associada a custos elevados, é muitas vezes descurada podendo levar à ocorrência de danos severos nos equipamentos, resultando em longas paragens na produção, com todas as agravantes que daí resultam.

No caso da Renault CACIA existem três tipos de manutenção praticados: corretiva, preventiva e PMA (Plano de Manutenção Autónoma).

Manutenção corretiva

A manutenção corretiva consiste na intervenção no equipamento após a ocorrência de uma avaria ou anomalia, não sendo usado qualquer tipo de técnica para fazer a previsão ou controlo das falhas. O processo de deteção e reparação fica a cargo dos CUET e da equipa de eletrónica e mecânica, que devido à natureza das avarias necessitam de intervir no menor tempo possível (quando é possível).

Manutenção preventiva

O plano de manutenção preventiva é, ao contrário da corretiva, atempadamente planeado e executado pelas equipas de fiabilistas e electrónica, sendo ajustado a cada tipo de equipamento consoante os sistemas e os componentes que os constituem.

Dando como exemplo o tipo de equipamento usado no decorrer do presente projeto, as intervenções são calendarizadas e realizadas tendo em conta o tempo de vida dos componentes, o historial de avarias do equipamento e eventuais sinais de mau funcionamento de algum dos constituintes da máquina. Desta forma, as intervenções mais regulares visam a avaliação de aspetos relacionados com sistemas mecânicos internos suscetíveis a desgaste, tais como fusos, bombas, ferramentas de maquinaria, entre outros, que podem comprometer o bom funcionamento do equipamento ou a qualidade dos componentes produzidos em situações de avaria. De uma forma mais distanciada temporalmente são também verificados aspetos que não são passíveis de ocorrência de falhas que comprometam o devido funcionamento do equipamento, ou a qualidade final da produção, tais como as pilhas dos autómatos.

Existe também inserido neste tipo de manutenção um plano mais específico a cada aplicação, denominado Plano de manutenção autónoma (PMA). Este, sendo um plano inserido no processo de manutenção preventiva, regista algumas variações no modo de execução em relação ao processo descrito anteriormente. As características do plano diferem entre tipos de equipamentos, sendo elaborada uma lista de parâmetros a vistoriar em cada um deles, com os respetivos intervalos de valores admissíveis e a regularidade com que deve ser feita. Estes intervalos podem variar de vistorias diárias, semanais ou mensais, consoante a necessidade imposta para cada um dos parâmetros.

A execução é feita manualmente por operadores, que percorrem diversas áreas do equipamento de modo a verificar a conformidade dos valores lidos através dos sensores digitais e manómetros de pressão colocados no mesmo (figura 2.11).



Figura 2.11: Manómetros de parâmetros lidos no centro de maquinação Grob

As características do plano de manutenção, assim como a zona de registo de valores recolhidos encontram-se expostos na estrutura de cada equipamento, em duas folhas distintas. A primeira contem uma representação do sinóptico do equipamento em questão, com a identificação de cada um dos parâmetros a controlar, a regularidade com que esse controlo deve ser feito e a localização do dispositivo de leitura na estrutura do equipamento. A segunda é dedicada ao registo temporal dos valores registados em cada parâmetro, assim como de qualquer leitura registada fora dos valores admissíveis. É desta forma possível para a equipa de manutenção fazer a deteção previa de avarias e efetuar atempadamente um planeamento de intervenção no equipamento, minimizando as interrupções de produção.

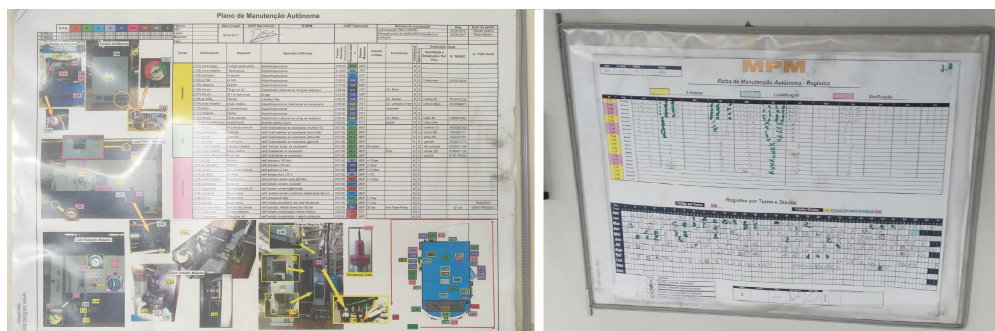


Figura 2.12: Folha de parâmetros a controlar e tabela de registo temporal para o plano de manutenção autónoma

Capítulo 3

Enquadramento teórico e conceitos fundamentais

3.1 Manutenção industrial

Ao longo desta secção, irá ser abordada a manutenção industrial de uma forma cronológica, começando pelo enquadramento histórico desde os seus primórdios até à atualidade, dando especial foco aos métodos de manutenção praticados. Posteriormente será abordado o seu estado atual e o rumo que a mesma está a tomar, traçando o seu provável futuro.

3.1.1 Evolução histórica da manutenção

A manutenção industrial teve diferentes fases, filosofias e objectivos desde o seu surgimento como uma necessidade inerente ao aparecimento e introdução de equipamentos de auxílio às actividades industriais, sendo na maioria dos casos vista como um mal necessário[26].

John Moubray[9] analisou e resumiu a evolução da manutenção entre 1930 e 2000, delineando 3 fases distintas.

A primeira engloba todo o período histórico que precede a II guerra mundial. Durante esta fase, os processos a nível industrial eram feitos de uma maneira pouco complexa e mecanizada, recorrendo-se principalmente a trabalho manual[27]. Os equipamentos utilizados nesta era, para além de existirem em reduzida quantidade, eram também bastante simples do ponto de vista mecânico. Não havendo a noção de gestão eficiente de recursos e materiais, estes equipamentos eram sobre dimensionados, levando a que fossem extremamente fiáveis e a manutenção fosse simples de efetuar. Estes fatores conduziram a necessidades de manutenção bastante básicas e sem necessidade de intervenções regulares, bastando adotar rotinas de limpeza, lubrificação e intervenções simples.

Durante a segunda fase, as grandes potências mundiais foram profundamente afetadas a nível industrial pela II Guerra mundial. Como consequências, a mão-de-obra caiu a pique, enquanto que a procura de bens aumentou, levando à necessidade da introdução de nova maquinaria industrial de modo a colmatar as necessidades de produção. Estes novos equipamentos registavam uma complexidade mecânica muito mais elevada

quando em comparação com os anteriores, necessitando consequentemente de um nível de qualificação superior por parte dos responsáveis de manutenção[28]. Esta tendência criou uma dependência muito grande da indústria neste tipo de equipamentos, trazendo com ela novas necessidades no que à manutenção diz respeito. Tendo-se passado de tarefas manuais para tarefas executadas por equipamentos mais complexos, o tempo de paragem das máquinas começou a ter um destaque especial dentro da indústria, assim como os maiores custos associados à sua manutenção. Com estas necessidades surgiu a ideia de que as falhas dos equipamentos podiam e deviam ser prevenidas, tendo sido implementadas técnicas de manutenção planeadas e fazendo uso de sistemas de controlo[29].

A terceira fase teve início a meio dos anos 70 e perdura até ao ano da análise feita por John Moubray[9], sendo marcada por mais uma adaptação às novas necessidades de manutenção impostas, resultando na adoção e implementação de novas técnicas que perduram até aos dias de hoje. As interações entre equipamentos industriais atingiram um patamar de extrema complexidade e dependência entre si, podendo uma pequena falha num dos equipamentos interferir com toda a sequência de operação dentro de uma instalação fabril. Como é expectável qualquer paragem desta natureza provocaria um impacto negativo nos volumes de produção e aumentos nos custos de operação, resultando em última instância num mau serviço prestado ao cliente final. Desta forma, os métodos de execução e planeamento da manutenção dos equipamentos sofreram alterações que visavam atenuar ao máximo os impactos de uma eventual avaria no equipamento e consequente paragem na produção. A manutenção começou a ser vista como uma área prioritária dentro das organizações industriais, havendo desde então uma preocupação em especializar as equipas que efetuam as intervenções, assim como a integração de sistemas e processos de auxílio e planeamento eficiente de meios para a manutenção. Com o aparecimento e introdução da automação e novos processos tecnológicos, registou-se uma proliferação de sistemas que visavam o aumento de fiabilidade e disponibilidade dos processos e equipamentos, representando ao mesmo tempo, uma subida no seu investimento inicial e custos de operação necessários. Pretendeu-se assim equilibrar a balança de custos ao fazer uso desses sistemas para garantir um retorno máximo dos equipamentos, ao manter os mesmos em operação por períodos de tempo muito mais alargados e de uma maneira muito mais eficiente do que se registava até então[9][22]. Como resultado, em aproximadamente 30 anos a manutenção passou a ser um dos principais mecanismos de controlo de custos dentro do meio industrial[9].

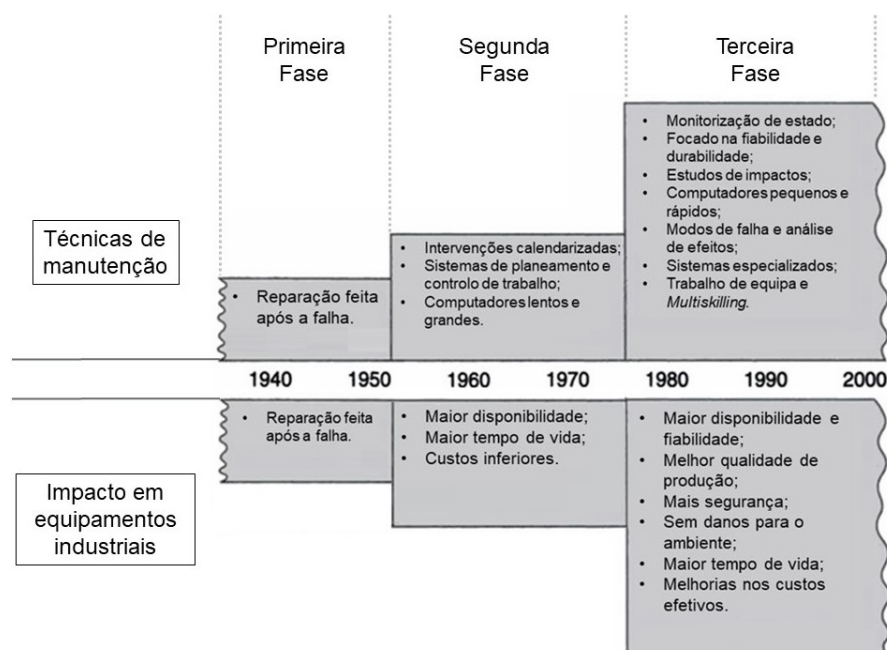


Figura 3.1: Etapas da evolução da manutenção industrial ao longo da história (Adaptado de [9])

3.1.2 Métodos de manutenção praticados

O objectivo primário de qualquer plano de manutenção passa por reduzir ou atenuar os efeitos causados por paragens imprevistas, possibilitando um aumento do tempo de funcionamento dos equipamentos[29]. Desta forma, foram adotados ao longo da história um conjunto de planos de manutenção com diferentes características, denotando uma clara evolução no planeamento e execução dos mesmos.

Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva foi o primeiro tipo de manutenção a ser adoptado e implementado em toda a história. Este plano consiste na reparação e restauro de componentes e equipamentos após a detecção da ocorrência de uma falha ou avaria em algum dos seus componentes[30].

Tem como principal vantagem o facto de não implicar qualquer tipo de investimento inicial em sistemas de auxílio à manutenção (por não fazer uso destes) ou de formação dos elementos da equipa de manutenção. No entanto implica na maioria dos casos grandes custos nas ocorrências em que é necessário efetuar uma intervenção, quer devido à frequente necessidade de substituição ou reparação de componentes afetados, quer devido aos intervalos de tempo demorados em que a paragem se verifica, muitas vezes por falta de componentes de substituição ou recursos humanos qualificados para a fazer. Devido aos métodos de acção desatualizados e pouco eficientes para os atuais componentes e respetiva criticidade no funcionamento dos equipamentos, a manutenção corretiva tem vindo a ser posta de lado em detrimento de novos processos de manutenção que têm como objetivo atenuar ou eliminar as paragens inesperadas. No entanto, para aplicações onde

uma eventual paragem não seja sinónimo de custos avultados ou paragens de produção, este método ainda continua a ser aplicado[31].

Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva foi idealizada de modo a preencher as lacunas deixadas pela manutenção corretiva. O objetivo deste plano, tal como o nome sugere, passa por realizar acções de prevenção de problemas e falhas nos equipamentos antes de se registar qualquer tipo de ocorrência. Estas acções podem variar no tipo e complexidade, indo de simples lubrificações e verificações de folgas, a acções calendarizadas que englobem reparações, ajustes e calibrações ou reconstruções de componentes[32].

Estas intervenções são calendarizadas e planeadas através da análise de estudos estatísticos orientados para o tempo de vida previsto dos componentes, a experiência recolhida ao longo do tempo pelas equipas de manutenção e o tempo de vida previsto para cada um dos componentes constituintes do equipamento[30]. Com o uso desta metodologia, é possível registar melhorias significativas na fiabilidade dos equipamentos reduzindo as falhas ocorridas, deixando de parte os problemas registados na utilização da manutenção corretiva.

Com este plano de manutenção, a substituição prematura de componentes é muitas vezes uma realidade, deixando em aberto uma otimização do tempo de vida útil dos mesmos através da previsão da falha do componente, podendo esta ocorrer algum tempo após o tempo de vida projetado. Ao mesmo tempo, este método não garante por si só a imunidade à ocorrência de falhas no equipamento nos períodos entre vistorias[30], podendo ser detectados demasiado tarde.

Manutenção Preditiva

Contrariando a já antiga crença de que as falhas nos equipamentos não podem ser previstas[10], a manutenção preditiva surge com o objetivo de fazer a previsão de futuras falhas ou avarias.

Uma vez que sistemas de monitorização e controlo manuais são, cada vez mais, soluções ineficientes para o cumprimento de metas e objetivos pretendidos para a sustentabilidade e eficiência no que à gestão e controlo da produção dizem respeito, este tipo de manutenção surgiu como uma ferramenta complementar dos planos de manutenção usados até então. Visa assim minimizar os impactos sofridos pela realização de acções de manutenção através da monitorização contínua dos equipamentos durante o seu funcionamento, utilizando sistemas próprios para esse efeito[30].

Os dados recolhidos são posteriormente sujeitos a uma análise de tendência, tendo como base o histórico registado para um dado parâmetro dentro desse equipamento ou até em equipamentos semelhantes, sendo o objectivo final detectar desvios dos valores aceitáveis que possam indicar um eventual problema que possa gerar uma falha no futuro[10]. Assegura-se assim o devido planeamento e execução atempada das paragens, contribuindo não só para uma redução de custos, mas também para garantir o funcionamento dos equipamentos durante o maior intervalo de tempo possível [1] e a realização das paragens para intervenções no intervalo temporal onde se verifique o menor impacto na cadeia de produção. Os principais campos abrangidos pela manutenção variam de caudais, pressões, temperaturas, consumos elétricos, desgaste de ferramentas e vibrações em

componentes rotativos[30], sendo este ultimo um dos principais focos da aplicação deste tipo de sistemas[10].

Em suma, tanto a manutenção preventiva como a preditiva são métodos pró-activos de manutenção com abordagens e objetivos finais diferentes[29]. Enquanto que na manutenção preventiva os intervalos de inspeção são planeados com base no histórico de ocorrências e tempo de vida anunciado para os componentes, a manutenção preditiva é calendarizada com base na análise de dados recolhidos através de sistemas de monitorização remota instalados no equipamento[28].

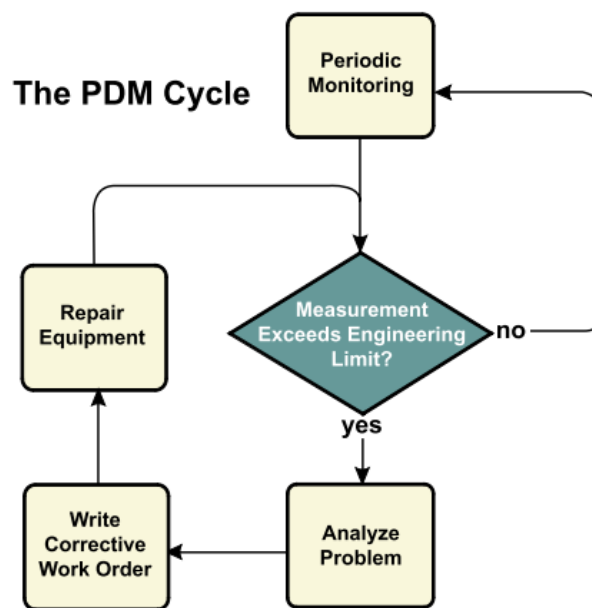


Figura 3.2: Ciclo de funcionamento da manutenção preditiva [10]

3.1.3 Manutenção industrial na actualidade

Actualmente torna-se crucial a adopção de planos de manutenção eficientes, de modo a manter os custos de produção baixos ao mesmo tempo que se garante o cumprimento dos prazos de produção e entrega de produtos[33]. As empresas procuram assim um aumento dos lucros através da maximização da produção mantendo-a *low-cost*, com grande nível de qualidade, serviço e segurança.[34]

Se no passado as paragens inesperadas eram aceitáveis e inevitáveis, actualmente representam uma falha inaceitável devido às perdas provocadas na produtividade e na qualidade de produção[28]. Tendo em conta este panorama, as metodologias e planos associados à manutenção corretiva encontram-se cada vez mais desatualizados e desfasados com aquilo que são os objetivos e expectativas pretendidos em planos de manutenção executados na atualidade, sendo utilizados apenas em ultimo recurso em meios industriais desenvolvidos.

As vantagens competitivas das empresas na economia global atual são influenciadas por fatores associados aos custos, qualidade, flexibilidade e tempo de resposta de produção. Sendo este conjunto de fatores impostos de forma indireta à indústria o principal índice da competitividade da mesma, estão fortemente dependentes da forma e da efici-

ência com que as estruturas de administração de produção recebem informação referente aos meios de produção e respectivos equipamentos[32][21].

Existindo atualmente dentro da manutenção preventiva diversos tipos de planos de controlo de estados feitos de forma manual no *shop floor*, estes revelam ser ineficientes para as constantes imposições de competitividade e necessidade de melhoria de eficiência de processos. Desta forma é cada vez mais comum fazer uso de sistemas de controlo de estados automatizados, ou sistemas de monitorização contínua, como muitas vezes são conhecidos em ambientes industriais. Com a implementação destas soluções promove-se uma aquisição e distribuição de dados de uma forma remota, rápida e eficiente[21]. Estes sistemas de apoio à execução das tarefas de manutenção têm sofrido ao longo do tempo uma adaptação às necessidades impostas pela manutenção preditiva, havendo a tentativa de integração de mecanismos de previsão de falhas futuras no equipamento nestes sistemas. Com as desejadas vantagens conferidas por esta técnica de manutenção, tem-se registado a sua proliferação em meios industriais que pretendem acompanhar a evolução tecnológica desenvolvida nesta área, fazendo uso de todo o potencial das mesmas, mesmo que implique investimentos superiores em relação aos que eram registados até ao início do século XXI.

3.2 Sistemas de monitorização

Com o desenvolvimento e integração de sistemas tecnológicos cada vez mais complexos em ambientes industriais, têm surgido novas técnicas e ferramentas que visam a melhoria da eficiência dos mais variados processos, tais como aplicações computadorizadas, sistemas de recolha de dados automatizados, tecnologias de video, entre outras. A tendência registada ao longo dos anos indica um claro crescimento na aplicação deste tipo de sistemas para efectuar análise de dados e diagnósticos [35], em especial os sistemas automatizados de recolha de dados, também conhecidos por sistemas de monitorização automatizados.

Estes sistemas são atualmente uma parte essencial na busca de uma produção mais eficiente e competitiva, trazendo uma redução de custos significativos à execução das manutenções, não só através da redução do tempo de paragem dos equipamentos, como também através da extensão do tempo de funcionamento contínuo dos mesmos, evitando a substituição precoce de elementos. Potenciam também a redução dos custos de produção e operação dos equipamentos[21], de custos energéticos e desperdícios de matéria prima, levando a processos mais amigos do ambiente, assim como o aumento de eficiência na gestão e planeamento quer a nível produtivo, quer a nível de manutenção[22].

3.2.1 Sistemas SCADA

O acrónimo SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) é um termo genérico usado para descrever sistemas de controlo e monitorização de processos industriais[11].

Estes sistemas fornecem em tempo real as informações recolhidas ao longo de toda a sua rede de acção, sendo possível fazer posteriormente a visualização dos dados remotamente através de qualquer tipo de dispositivo de interface (desde HMIs até PCs). Tal como já foi abordado anteriormente na secção 3.1.2, a integração deste tipo de sistemas resulta numa manutenção mais eficiente de equipamentos, resultando em maiores tempos de operação devido ao auxílio essencial na deteção e planeamento de tarefas de manutenção.

Têm por base arquiteturas organizadas hierarquicamente em equipamentos cliente e servidor com vários tipos de abordagens possíveis, havendo no entanto uma base comum. No topo da hierarquia encontram-se as *master station* ou *master terminal unit* (MTU), que na maioria dos casos são PC's que podem ter ou não outras funções para além das requeridas pelo sistema. As funções principais do sistema são recolher os dados das unidades que se encontram na camada inferior da hierarquia, denominadas RTU's (Remote Terminal Unit) e possibilitar a sua visualização num sistema HMI, tal como já foi referido. Estas unidades remotas são geralmente PLC's que fazem o controlo remoto dos atuadores e aquisição de dados dos sensores inseridos no sistema[36].

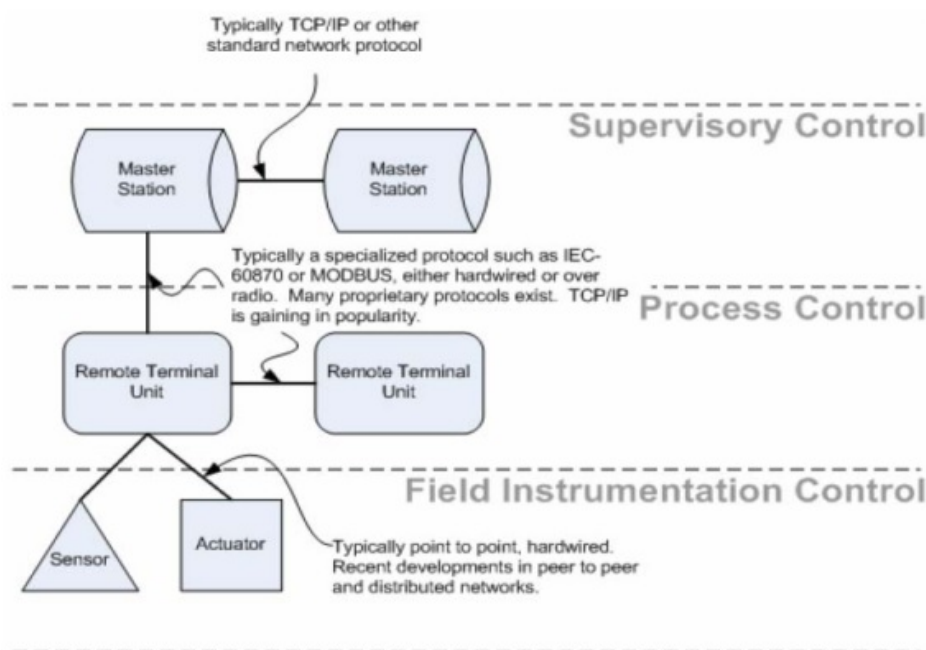


Figura 3.3: Arquitectura comum de um sistema SCADA[11]

Com os avanços registados no uso da Internet e de sistemas sem fios nas últimas décadas, estes sistemas têm registado um acréscimo de popularidade em distintas áreas da indústria mundial, desde a metalúrgica, sistemas de controlo de tráfego e indústria de geração de energia (barragens, petróleo, gás natural, entre outros)[37].

Os sistemas SCADA têm sofrido alterações ao longo dos anos, sendo cada vez mais funcionais, replicáveis e abertos, para além das melhorias no seu desempenho[38], tendo como exemplo a integração de arquiteturas abertas através da introdução de *standards* e protocolos abertos, eliminando a limitação dos sistemas proprietários distribuídos pelas marcas que desenvolvem soluções deste tipo[11]. Existe agora uma maior facilidade na personalização e adaptação da arquitectura destes sistemas às reais necessidades das implantações em que estes se encontram instalados, conduzindo a configurações de redes notavelmente complexas.

OPC

O acrónimo OPC teve como primeiro significado OLE (Object Linking and Embedding) for Process Control, sendo originalmente restrito a *Windows*, tratava-se de um software standard desenvolvido pela *OPC Foundation* em 1996 para a comunicação em tempo real entre um programa *Windows* e equipamentos industriais (normalmente PLCs) de diferentes fabricantes ligados na mesma rede. Actualmente, OPC significa *Open Platform Communications*, de modo a projectar as especificações mais recentes que já não estão limitadas à tecnologia OLE[39]. Estas especificações definem a interface entre Clientes e Servidores, bem como Servidores e Servidores, incluindo acesso a dados em tempo real, monitorização de alarmes e eventos, acesso a dados históricos e outras aplicações[40].

Este *standard* tem vindo a ser desenvolvido e mantido pela OPC Foundation em conjunto com diversas entidades ligadas à criação e fabrico de sistemas de controlo e instrumentação, de onde se destaca a *Microsoft*. É atualmente o padrão de interoperabilidade para a troca segura e confiável de dados no espaço de automação industrial e em outras indústrias. É independente da plataforma e garante o fluxo contínuo de informações entre dispositivos de vários fornecedores[40].

Estes sistemas são uma forma menos trabalhosa de criar um sistema SCADA, partindo também de uma estrutura de comunicação servidor/cliente. Dessa forma, e tendo em conta as vantagens do mesmo, é extremamente comum encontrar sistemas OPC integrados em sistemas SCADA de maiores dimensões. Os principais benefícios relacionam-se com a redução de custos e um tempo de integração reduzido, devido aos componentes *plug and play* de diferentes fornecedores, apropriados para o utilizador[41].

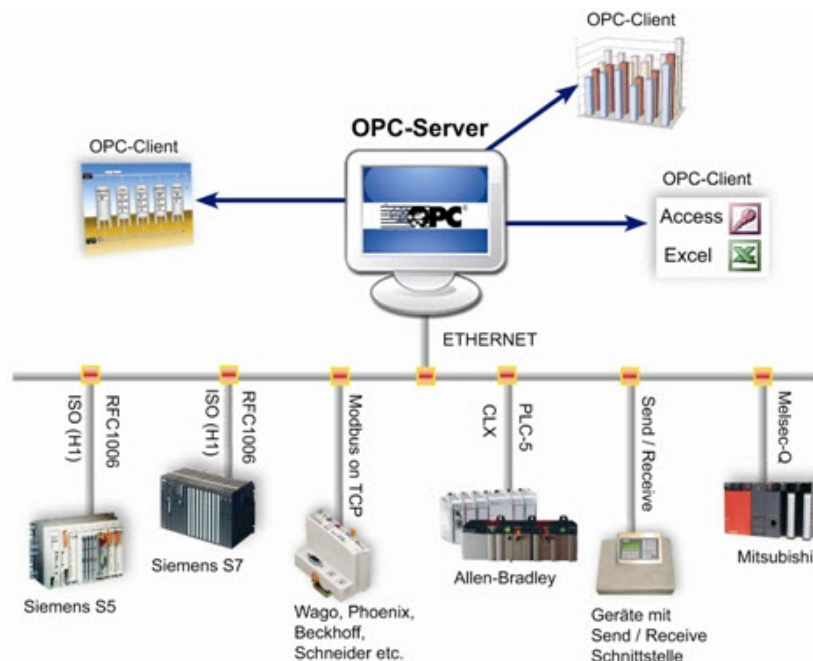


Figura 3.4: Arquitectura exemplo de sistema OPC[12]

3.3 Indústria 4.0

Tal como já foi abordado anteriormente, existiram ao longo da história da indústria, três revoluções que marcaram o seu rumo.

A primeira revolução industrial acontece durante o século 18 através da introdução de processos mecanizados na indústria, impulsionada pela criação do motor a vapor. A segunda revolução surge no século seguinte, tendo origem da introdução da eletricidade em ambientes industriais, levando a uma evolução dos equipamentos utilizados até então, dando início à produção em massa. A terceira revolução surge no século XX com a introdução generalizada de dispositivos eletrónicos para um conjunto extenso de aplicações, nas quais se destaca a automatização de processos.

Desde então, os avanços tecnológicos possibilitaram uma considerável redução de tamanho de componentes e sistemas industriais de base electrónica[42]. Se há algumas décadas um computador com capacidades de processamento insignificantes para os *standards* atuais ocupava uma sala inteira, com a evolução das tecnologias em causa, surgiram nos últimos anos sistemas que possuem uma incrível versatilidade e poder computacional aliado a um tamanho e custos reduzidos. Rapidamente se percebeu o elevado potencial de aplicabilidade destes sistemas em meios industriais e as vantagens trazidas pelos mesmos para situações onde o espaço e a contenção de custos são uma preocupação constante.

Esta evolução conduziu à proliferação daquela que é considerada a quarta revolução industrial, conhecida como Indústria 4.0[43]. Esta designação não reúne, no entanto, um consenso universalmente reconhecido num unico formato que seja aceite por todas as comunidades[44].

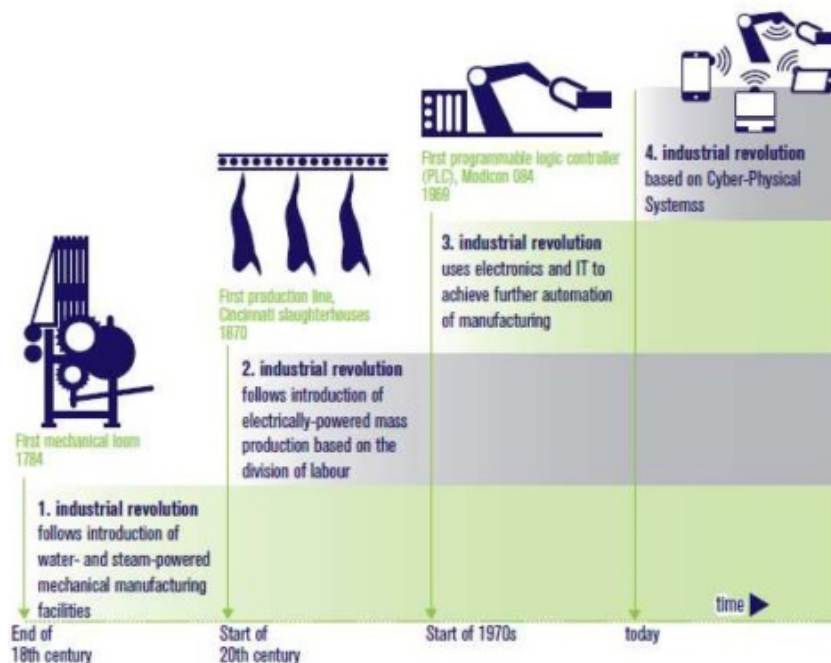


Figura 3.5: Cronograma de revoluções industriais[13]

Esta revolução caracteriza-se pela digitalização de toda a indústria e processos que a ela estão ligados. Os seus quatro pilares são os sistemas ciber-físicos (CPS), a *Internet*

of Things (IoT), *Internet of Services* (IoS) e as *Smart Factories*[45].

O conceito de *Smart Factory* pressupõe uma fábrica dotada de equipamentos onde estejam integrados sistemas inseridos na filosofia da Indústria 4.0, tais como sensores, actuadores e sistemas autónomos interligados entre si numa rede[42].

Os sistemas ciber-físicos são uma fusão entre o lado físico e digital, fazendo a digitalização de dados contidos nos sistemas e processos que anteriormente seriam apenas físicos[42]. Torna-se assim possível integrar não só os sistemas de controlo e monitorização, mas também todos os intervenientes na cadeia de produção, desde clientes e fornecedores até equipas de engenharia ou logística dentro das instalações. É assim criada uma rede digital que une todos estes elementos numa só rede, permitindo um fluxo de informação em tempo real de uma forma eficaz. Na figura 3.6 encontra-se representado um exemplo da abrangência da rede de um sistema ciber-físico.

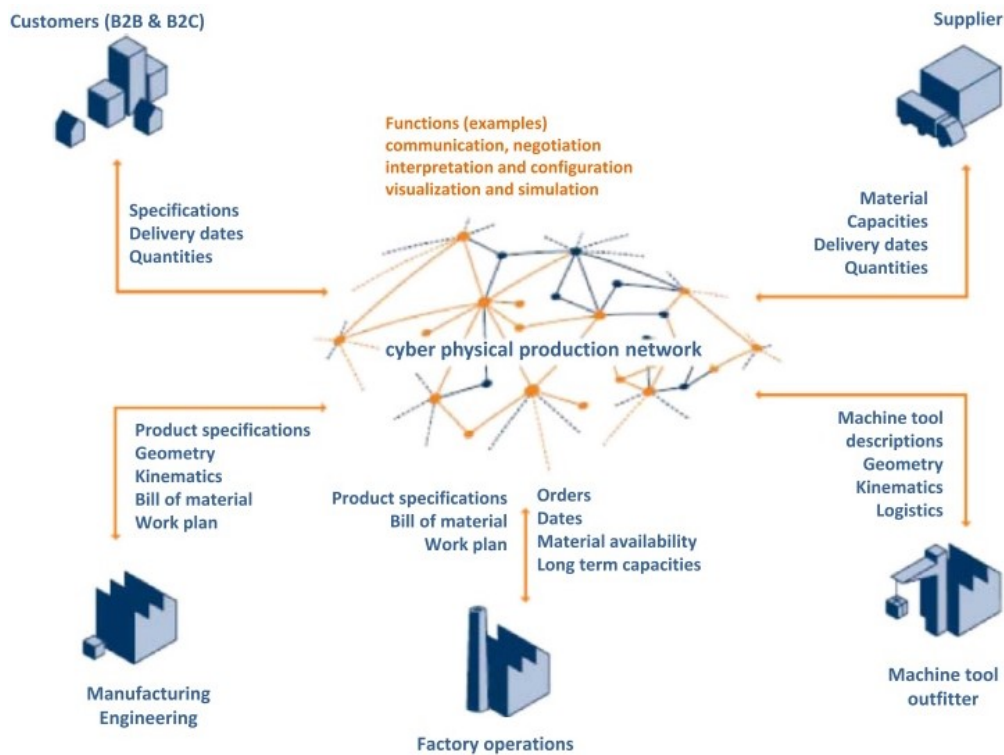


Figura 3.6: Exemplo da interdependência numa cadeia de produção no contexto da indústria 4.0[13]

A IoT tem por base o objetivo de fazer a ligação em rede de objetos utilizados no quotidiano, desde telemóveis, computadores, sistemas embebidos com sensores e atuadores de modo a que seja possível a comunicação e troca de informação entre si. Com o avanço gradual da tecnologia e dos sistemas criados, a IoT gera enormes oportunidades para o aparecimento de um grande número de aplicações inovadoras que têm o potencial de melhorar inúmeros aspectos da nossa qualidade de vida[46], inseridas em áreas como a domótica, indústria, transporte e muitas outras.

A ideia base da IoS consiste no uso sistemático da Internet e consequentemente de um aproveitamento das tecnologias desenvolvidas sob a IoT para criar novos métodos de geração de valor no sector dos serviços a nível industrial[47]. Com a introdução

destes sistemas, registou-se uma evolução nos sistemas produtivos industriais, trazendo um acréscimo de valor e benefícios em diversas áreas: redução de custos, de energia, o aumento da segurança e da qualidade, e a melhoria da eficiência dos processos. Provam também ser uma ferramenta importante para reagir às constantes mudanças incertas dos mercados globais[44].

3.3.1 Impacto na indústria

O surgimento da Indústria 4.0 e de todos os sistemas em si contidos gerou uma onda de inovação a nível industrial. Através da IoT e IoS, é cada vez mais comum existir a integração de redes de sistemas digitais interligados, que realizam tarefas como recolha e análise de dados de máquinas, gestão e quantificação de produção, controlo de qualidade, e disponibilização dos dados através da rede de dispositivos. É assim criado um fluxo de informação entre todos os intervenientes dentro de uma instalação fabril que resulta na criação de processos mais rápidos, mais flexíveis e mais eficientes para produzir bens de alta qualidade a custos reduzidos[43]. De uma maneira simplificada, isto conduz a uma descentralização dos sistemas, permitindo uma alta flexibilidade em todas as etapas de desenvolvimento, diagnóstico e manutenção, bem como na operação de sistemas automatizados[48], conduzindo também a uma gestão mais eficiente de recursos, resultando num aumento da produtividade e consequente criação de valor adicional[44].

Os sistemas desenvolvidos e integrados neste âmbito tem um conjunto amplo de aplicações a nível industrial. A monitorização em tempo real revelou-se uma mais valia na área da manutenção preditiva, levando a uma tomada de decisão em tempo real às ocorrências detectadas. No entanto este tipo de sistemas digitais também podem ser usados para fazer a antecipação de inventário com base na produção, melhor planeamento e coordenação de recursos humanos para realização das mais variadas tarefas, entre outros. Para além do impacto dentro das organizações, houve também uma mudança nos mercados atuais, levando à transição de um mercado completamente controlado pelas entidades responsáveis pelo desenvolvimento e produção para um mercado onde o cliente começa a ter um papel preponderante no modo como o produto é elaborado. É agora cada vez mais frequente existir uma individualização dos produtos consoante as necessidades ou exigências do cliente, podendo mesmo levar ao caso extremo da criação de produtos únicos[42]. A produção industrial da nova era está assim a tornar-se altamente flexível no volume e personalização de produção, estando paralelamente a tornar-se também mais sustentável existindo uma ampla integração entre clientes, empresas e fornecedores[49].

3.4 Protocolos e conceitos fundamentais

3.4.1 Modelo OSI

O projecto OSI (*Open Systems Interconnection*) inicial foi desenvolvido no final dos anos 70 pela *International Organisation for Standardisation* (ISO) enquanto que de forma paralela a *CCITT* (Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique) desenvolvia o *Layered Model for Public Data Network Services*. Estes protocolos tinham um grande conjunto de semelhanças, tendo surgido em 1984 o modelo final OSI [50] da aglutinação de dois sub-projectos que tinham como objetivo satisfazer a necessidade urgente de introdução de *standards* para uma comunicação heterogénea em redes de

computadores[51].

O modelo OSI descreve um sistema de arquitetura de redes organizado por um total de sete camadas:

Tabela 3.1: Camadas do modelo OSI (Adaptado de [2])

7	Application - Network Processes to Applications
6	Presentation - Data Representation
5	Session - Interhost Communication
4	Transport - End-to-end Connections
3	Network - Address and Best Path
2	Data Link - Access to Media
1	Physical - Binary Transmission

Cada uma destas camadas tem o propósito de facilitar a transferência de informação entre as camadas adjacentes[52], tendo cada uma funções distintas[2]:

- **7 *Application*:** É a camada mais próxima do utilizador, fornecendo os serviços de rede para as aplicações do utilizador. Ao contrário das outras camadas, não fornece serviços para qualquer outra, apenas para o exterior do modelo OSI. Pode encontrar-se em aplicações de processamento de texto e programas de interface com equipamentos variados.;
- **6 *Presentation*:** Esta camada certifica-se que a informação que a camada *Application* de um dos sistemas envia para outro sistema é compreendida, mesmo que para isso seja necessário converter os formatos de dados num formato comum a ambos, possibilitando ainda a encriptação e a compressão de dados . Exemplos: JPEG, MPEG, ASCII, HTML, entre outros;
- **5 *Session*:** define como começar, controlar e terminar sessões entre aplicações, assim como as mensagens trocadas durante as mesmas, fazendo a sua sincronização. Desta forma, esta camada certifica-se de que as transferências de dados são feitas de forma eficiente;
- **4 *Transport*:** regula o fluxo de informação entre dispositivos de modo a garantir a ligação entre aplicações de uma forma precisa e robusta, segmentando a informação enviada e fazendo a reestruturação da mesma no dispositivo receptor. Exemplos: TCP (*Transmission Control Protocol*) e UDP (*User Datagram Protocol*);
- **3 *Network*:** define a entrega *end to end* dos pacotes de dados, endereços lógicos para a identificação de qualquer ponto de destino. São também definidas as rotas para transmissão de dados de modo a que estes sejam entregues. Os routers são um exemplo de dispositivo que se insere nesta camada, assim como o Internet Protocol (IP);
- **2 *Data Link*:** garante o acesso à rede e a transmissão física de dados na mesma, localizando o seu destino dentro da rede. Este fluxo de dados dentro de uma ligação é feito de uma maneira eficiente através do uso de endereços *Media Access Control*(MAC), que definem o endereço de cada *hardware* inserido na rede e permitem

a comunicação na mesma rede entre diferentes dispositivos sem que exista qualquer tipo de problema de identificação. As principais preocupações nesta camada são a topologia da rede e o seu acesso, notificações de erro, entrega de *frames* ordenada e controlo de fluxos. O protocolo *Ethernet* é um dos que está contido nesta camada.

- **1 *Physical*:** lida com as características físicas da transmissão, definindo especificações elétricas, mecânicas, de processos, e funcionais, de modo a activar, manter e desativar a ligação física entre os sistemas. São assim definidas nesta camada as seguintes características: voltagem, intervalos de mudança de voltagem, distâncias de transmissão máximas, taxas de dados físicos, entre outros.

Em suma, as camadas 1, 2, 3 e 4 estão responsáveis pelo fluxo de dados entre os sistemas em comunicação, enquanto que as camadas 5, 6 e 7 são focadas nos serviços das aplicações[2].

3.4.2 Protocolo TCP/IP

O pacote de protocolos TCP/IP foi desenvolvido pelo departamento de defesa dos Estados Unidos durante os anos 70 sob o projeto DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*), que tinha como objetivo criar um meio de comunicação entre um grande número de computadores dispersos por diversas bases e organizações militares, independentemente do sistema operativo ou da tecnologia envolvida em cada caso. Ao fim de alguns anos de desenvolvimento, surge em 1978 o pacote de protocolos TCP/IP na sua forma final. Este pacote, apesar de ser frequentemente equivocado como sendo um protocolo único, é um conjunto de dois sub-protocolos, o TCP e o IP. Estes protocolos podem ser vistos como um modelo por camadas, inserido os mesmos no modelo OSI. O protocolo TCP está responsável pela forma como as aplicações podem criar canais de comunicação dentro de uma rede, assim como a forma como as mensagens são estruturadas em blocos de tamanho mais reduzido, antes de serem enviadas pela rede e reconstruídas do lado oposto do canal de comunicação. O protocolo IP define qual o endereço e o caminho que cada pacote de dados deve seguir para chegar ao destino. Cada dispositivo inserido na rede verifica qual é o seu endereço IP antes de decretar para onde efetuará o envio da mensagem.

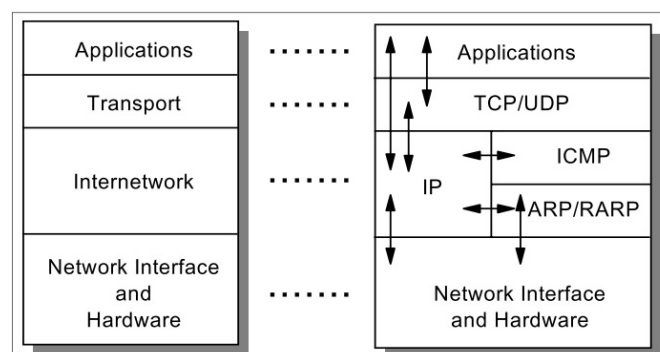


Figura 3.7: Protocolo TCP/IP dentro da arquitectura OSI [14]

O protocolo TCP/IP tornou-se com o passar do tempo no método *standard* a nível industrial para a interligação entre sistemas, redes e a internet[53]. Desta forma, é visto

como o motor por detrás da Internet e das redes globais actuais[54], definindo os metodos usados na troca de informação entre os dispositivos inseridos nessas redes[55].

3.4.3 Protocolo S7

O protocolo S7 foi desenvolvido pela Siemens de modo a efetuar comunicações entre dispositivos da marca ou externos, sendo frequentemente utilizado em sistemas SCADA entre HMIs e PLCs[56].

Estrutura de mensagem

O seu uso é feito sob a forma de ligação *ethernet* e tem como base o protocolo TCP aliado ao uso da extensão RFC1006, uma comunicação com base orientada por blocos denominados *Protocol Data Unit*(PDUs), também conhecida como "*ISO on TCP*"[15].

A sua estrutura é orientada para o envio de uma lista de comandos disponíveis na comunicação:

- *Data Read/Write*;
- *Cyclic Data Read/Write*;
- *Directory info*;
- *System info*;
- *Blocks move*;
- *PLC Control*;
- *Date and Time*;
- *Security*;
- *Programming*.

Podem ocorrer casos onde será necessário mais do que um bloco para o enviar na sua totalidade, havendo fragmentação do comando em dois ou mais PDUs. O objectivo final deste protocolo passa por compatibilizar dois tipos de comunicação com estrutura base organizada de forma muito distinta[15].

Assim, um bloco (PDU) do protocolo S7 irá ter na sua estrutura e pela seguinte ordem os seguintes constituintes:

- *header*;
- Parâmetros;
- Dados associados aos parâmetros;
- Mensagem base.

O protocolo COTP (*Connection-Oriented Transport Protocol*) é o responsável pelo transporte de pacotes de dados entre os dois extremos da comunicação, definindo os limites de cada uma das mensagens enviadas bi-direccionalmente. O mesmo não se verifica para o protocolo TCP, que efectua o envio de mensagens através de um fluxo contínuo, sem qualquer tipo de limitação [57]. Assim, de modo a integrar mensagens do protocolo COTP em TCP irá ser necessário estabelecer e uma estrutura híbrida de envio de informação.

O *header* TPKT (*ISO transport services on top of the TCP*) tem a função de emular e implementar os serviços de transporte ISO sob o protocolo TCP clássico. Na prática, irá fazer a implementação de mensagens organizadas por blocos comuns ao protocolo COTP, em mensagens de protocolo TCP, tornando assim possível a comunicação directa entre *hardware* Siemens (por blocos) e *hardware* externo (fluxo de mensagens sem tamanho definido) pretendida [57][58].

Resumindo todo este processo, inicialmente existirá um PDU que será a mensagem base a incluir no telegrama da extensão *ISO on TCP*, sendo anexada a dois parâmetros de mensagem adicionais: TPKT e COTP. Para completar a conversão de mensagem PDU em mensagem final TCP/IP, o telegrama anterior irá ser anexado a um *header*. Esta organização por sub estruturas encontra-se esquematizada na figura 3.8

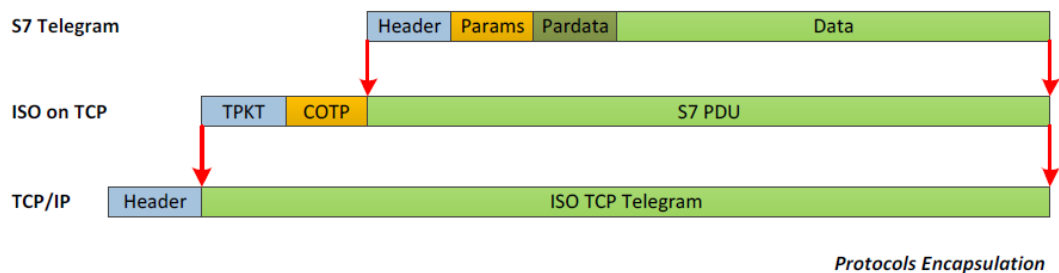


Figura 3.8: Estrutura da mensagem em protocolo S7 [15]

Arquitectura de comunicações S7

Na arquitetura de comunicações Siemens existem três integrantes com diferentes funções no sistema:

- Cliente: Pode efetuar *queries*(inquirições) ao servidor, quer seja para leitura de parâmetros, escrita, informações, etc;
- Servidor: Responde aos pedidos recebidos;
- *Partners*: Podem comunicar entre si livremente e por iniciativa própria.

A estrutura de comunicação entre o servidor e um qualquer cliente é apresentada na figura 3.9, sendo nesse exemplo um PLC a desempenhar o papel de servidor, estando ligado por *ethernet* a 3 clientes com diversas finalidades. O primeiro cliente ilustrado é um computador pessoal genérico responsável pela leitura de um campo de memória do PLC, usando para isso uma aplicação cliente para a comunicação, tendo disponíveis algumas soluções para esse efeito, tal como a Simatic NET, servidor OPC, cliente Snap7, entre outros. O segundo cliente é um HMI compatível com o PLC usado, responsável pela escrita de parâmetros na memória do autómato. O terceiro cliente denominado "PG"é,

mais uma vez, um computador. No entanto este apenas usa o protocolo de comunicação para efetuar alterações no programa base do autômato através do respetivo *software*.

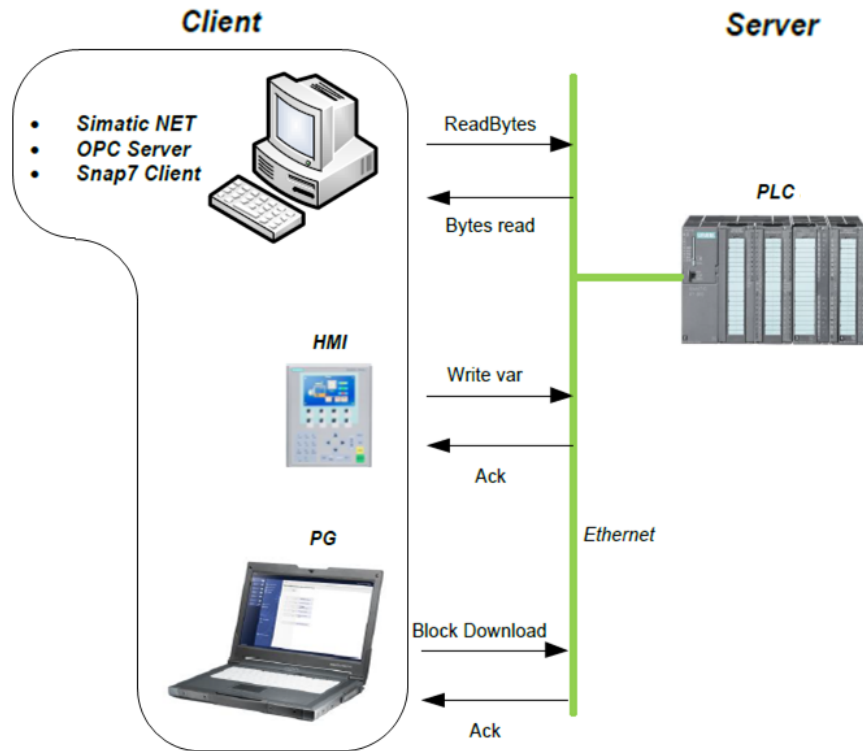


Figura 3.9: Arquitetura de comunicação servidor cliente no protocolo S7(Adaptado de [15])

3.4.4 Snap7

O SNAP7 é uma distribuição *open source* multi-plataforma com base em comunicação *ethernet* para interação com PLC's Siemens S7. São suportados os novos modelos 1200, 1500, os antigos S7 200, S7-300 e as Drives de potência SINAMICS são também parcialmente suportadas.

Surgiu como alternativa aos servidores OPC, de modo a ultrapassar as limitações que estes possuíam na transferência a elevada velocidade de grandes quantidades de dados em instalações industriais. Mesmo com o elevado potencial demonstrado, esta distribuição não é de uso exclusivo em computadores com grandes requisitos de *hardware*, podendo ser aplicado e utilizado em processadores mais pequenos, tais como Arduinos, Raspberry Pi's, entre outros, tendo uma ampla faixa de bibliotecas para um conjunto alargado de linguagens de programação: C, C++, C#, python e VB[15].

3.4.5 Comunicação SPI

O protocolo de comunicação SPI - *Serial Peripheral Interface* foi desenvolvido pela Motorola durante os anos 70, tendo sido oficialmente introduzido em 1979 com o primeiro micro-controlador derivado da arquitetura do conhecido *Motorola 68000*, estando entre

os melhores no mercado à data da introdução, tendo sido usado pela Apple no Macintosh de 1984.

Este protocolo continua a ser (a par do I2C), um protocolo de comunicação mais comum de encontrar em soluções de circuitos integrados com periféricos incorporados e taxas de comunicação de gamas baixas e médias [16][59].

Estrutura de comunicação

A comunicação SPI é do tipo *master - slave* sincronizada, onde apenas um dos dispositivos irá desempenhar o papel de *master* e estando o número de *slaves* dependente do número de pinos *SS* do dispositivo mestre. O fluxo de informação é bi-direcional, cabendo ao *master* a tarefa de coordenar o envio e receção de dados com os restantes dispositivos. A comunicação é estabelecida com o uso de apenas quatro canais:

- MOSI - Usado para transmitir dados do módulo *master* para os módulos *slave*;
- MISO - Usado para transmitir dados de um módulo *slave* para um módulo *master*;
- SS - Canal usado para o envio de sinal de selecção do *slave* pretendido para efetuar a comunicação por parte do *master*;
- SLCK - Usado para enviar os pulsos que efetuam a coordenação dos dados enviados na comunicação.

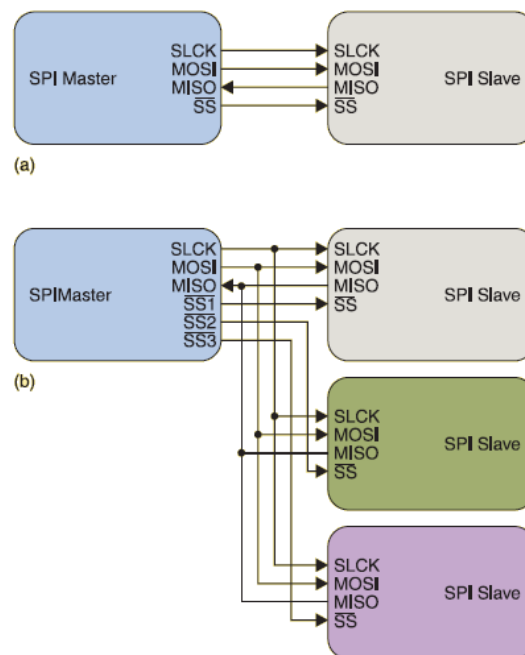


Figura 3.10: Ligações de comunicação SPI(Adaptado de [16])

Na figura 3.10 encontram-se esquematizados dois tipos de ligação SPI. No caso a temos a ligação mais simples é possível estabelecer, havendo apenas um *slave* ligado ao *master*. No exemplo b temos uma ligação entre quatro dispositivos, onde se verifica

que os canais *SLCK*, *MOSI* e *MISO* são partilhados por todos os dispositivos, havendo posteriormente um canal de *Slave Select* para cada um dos *slaves*.

Inicialmente é configurada a frequência de operação do relógio do sistema de modo a que seja compatível entre equipamentos. De seguida, é seleccionado o canal *SS* pretendido através da mudança do valor lógico no canal, dando início à execução dos ciclos de relógio. É iniciada neste momento a comunicação do tipo *full duplex*, havendo dados a ser enviados pelo canal *MOSI* e *MISO* paralelamente, sendo que por cada bit recebido, irá ser enviada uma resposta com o mesmo tamanho. Normalmente esta comunicação é feita através de mensagens de 8 bits. Da mesma forma, o *master* terá também de efectuar a configuração da polaridade e fase da comunicação (*CPOL* e *CPHA*, respectivamente).

Na figura 3.11 temos uma representação geral do envio de uma mensagem de 8 bits através do processo de comunicação descrito, assim como das diferenças entre os parâmetros configuráveis da mesma. Como se pode verificar, o parâmetro *CPOL* define qual o valor lógico no canal *SCK* que efectua o envio do bit actual. Para um *CPOL*=0, o envio é feito quando o canal passa a 0, enquanto que para um *CPOL* = 1 se verifica o cenário oposto. Quanto à fase do relógio, temos que para um *CPHA*=0 o envio da mensagem se inicia assim que o canal *Slave Select* passa a 0, enquanto que para um *CPHA*=1 o envio é feito na primeira mudança de estado do canal *SCK* [20].

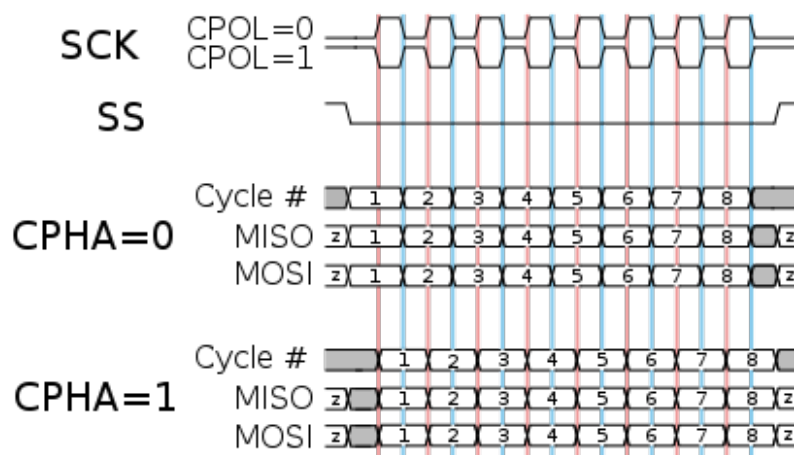


Figura 3.11: Diagrama temporal de comunicação SPI [17]

3.4.6 Optoisolamento

O opto-isolamento consiste na criação de isolamento galvânico num dado circuito, tornando independentes as tensões registadas nos seus extremos opostos. O isolamento é feito por dispositivos denominados opto-isoladores, ou optocopladores, entre as entradas e saídas ligadas aos circuitos adjacentes, sendo feita uma ligação com velocidade de resposta extremamente rápida através da transferência de feixes de luz entre um dispositivo emissor e um receptor internos [60] [61].

Existem dois tipos de opto-isoladores, os digitais e os lineares. No caso dos digitais, o componente emissor irá emitir com uma intensidade constante, funcionando como um interruptor ON/OFF para o circuito adjacente. Para os lineares, o componente emissor irá variar a intensidade de emissão consoante a corrente percorrida na sua entrada (pinos

1 e 2 da figura 3.12) e consequentemente, o recetor irá também regular a tensão de saída no circuito secundário tendo em conta este fator. Assim, a tensão de saída é regulada tendo em conta a tensão referência fornecida ao chip e a intensidade de fluxo luminoso ou infravermelho recebida pelo recetor. No caso de não existir emissão, a saída do circuito secundário é isolada, não havendo qualquer tipo de sinal a sair do opto-isolador.

É assim possível haver interações entre circuitos com grande diferença de tensões sem que exista contacto direto entre si, servindo de proteção a elementos mais suscetíveis a danos por picos de tensão ou curtos circuitos. Estes componentes são amplamente utilizados na indústria da automação[60] e eletrónica.

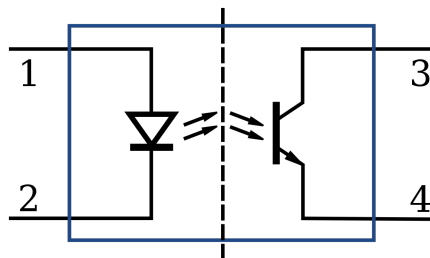


Figura 3.12: Funcionamento de um optoisolador

Capítulo 4

Enquadramento do projecto

4.1 Caracterização do problema

Como foi abordado na secção 2.3.4, nas instalações da Renault CACIA são praticados dois tipos de manutenção, a corretiva e a preventiva, também sob a forma do PMA. O método corretivo, sendo uma solução usada apenas em último recurso, tem como única vantagem o facto de não necessitar de investimento no período anterior à execução, havendo no entanto enormes custos associados às intervenções realizadas, quer em reparações e substituição de componentes quer em paragens de produção. As ações interventivas realizadas no âmbito dos planos de manutenção preventiva e do plano de manutenção autónoma embora envolvam a alocação de capital e recursos humanos para as suas execuções, permitem um retorno financeiro considerável, devido ao maior controlo sobre o estado dos equipamentos e ao agendamento de manutenções nos mesmos, minimizando ou até evitando os tempos de paragem. No entanto existe um enorme espectro de pontos negativos e lacunas por preencher pelos métodos atualmente praticados.

Para além dos gastos relacionados com a manutenção corretiva referenciados anteriormente, também no PMA se verificam limitações e exigências adicionais colocadas às equipas de manutenção. Em primeiro lugar, é necessário dar formação especializada e alocar recursos humanos com base diária apenas para realizar as vistorias a todos os equipamentos e consequente análise e registo de leituras, sendo também pertinente ter em conta as possíveis falhas inerentes a qualquer processo manual deste tipo. Sendo este processo realizado manualmente em intervalos de tempo pré-definidos, torna-se também possível a ocorrência de valores fora da gama admissível de trabalho entre vistorias, não entrando portanto no registo feito. Isto pode levar à não deteção previa de uma futura avaria, tornando o processo ineficaz para o objetivo que se pretende do mesmo.

O acumular de todos estes fatores resulta numa fraca fluidez de informação entre as informações recolhidas localmente no chão de fabrica e as equipas de manutenção. Sendo a função geral destas equipas coordenar meios humanos e económicos para a otimização de ações de manutenção, torna-se especialmente pertinente desenvolver um meio de troca de informações em tempo real que possa ser usado em qualquer localização da planta fabril e permita uma visualização dos dados registados localmente sem a necessidade de efetuar uma deslocação a cada equipamento.



Figura 4.1: Caracterização do problema de consulta de dados dos equipamentos

4.2 Arquitectura de projecto de monitorização contínua

Com o objetivo de desenvolver uma solução que preencha as lacunas presentes na atual estrutura de manutenção da instalação fabril, foi proposta uma arquitetura base para essa mesma solução.

Tendo como objetivo fazer a ligação entre os equipamentos espalhados ao longo das instalações e as equipas dedicadas à sua manutenção de uma forma eficiente, intuitiva e rápida, foi proposta a criação um sistema enquadrado na filosofia da Indústria 4.0 e o IoT, que fizesse a recolha de dados e envio dos mesmos para uma plataforma em suporte digital onde os mesmos possam ser visualizados. Pretende-se assim que este sistema sirva de auxílio à manutenção dentro das instalações da Renault CACIA, havendo alguns objetivos e características pretendidas para a estrutura e funcionamento do mesmo, sendo os principais:

- Fazer a monitorização dos equipamentos em tempo real;
- Efetuar uma recolha de dados de uma forma rápida e precisa;
- Suportar ciclos de funcionamento por tempo indefinido sem necessitar de intervenção humana;
- Solução deve ser "universal" e expansível a outros equipamentos;
- A transmissão de dados deve ser feita via Wi-Fi com a rede interna;

- Facilidade na adição de novos parâmetros a monitorizar na plataforma digital;
- Visualização intuitiva e organizada segundo a hierarquização interna de "pavilhão > linha > equipamento > parâmetro";
- Geração de alarmes visuais na plataforma;
- Armazenamento de leituras efetuadas e possibilidade de consulta do histórico.

Com a implementação deste sistema e posterior desenvolvimento adicional no futuro, pretende-se que seja possível analisar o desempenho de cada um dos equipamentos em separado, ou fazer comparações entre equipamentos inseridos na mesma linha de produção, traçando possíveis causas para eventuais variações. Para o caso da ocorrência de uma paragem abrupta de algum tipo de equipamento é conveniente saber, por exemplo, as condições em que a paragem se deu, ou se a mesma poderá ter algum impacto na qualidade das peças produzidas. Por fim, será também pertinente conseguir perceber qual o real impacto dessa paragem do ponto de vista económico. Com o desenvolvimento desta solução é esperado um forte impacto na redução de gastos internos, desde energéticos, de material, recursos humanos e tempos de paragem de produção.

No panorama geral, pretende-se com isto reformular a forma como a manutenção é efetuada e calendarizada, detetando problemas e avarias em tempo real, ou prevendo falhas futuras nos sistemas presentes nos equipamentos, atuando atempadamente na sua resolução evitando assim custos desnecessários.

Esta dissertação, estando inserida na estrutura deste projeto, irá abordar o desenvolvimento das etapas de aquisição de dados do centro de maquinaria GROB, desde a análise e conversão do sinal ao envio do mesmo para a plataforma de visualização, estando as restantes etapas do projeto a ser desenvolvidas paralelamente.

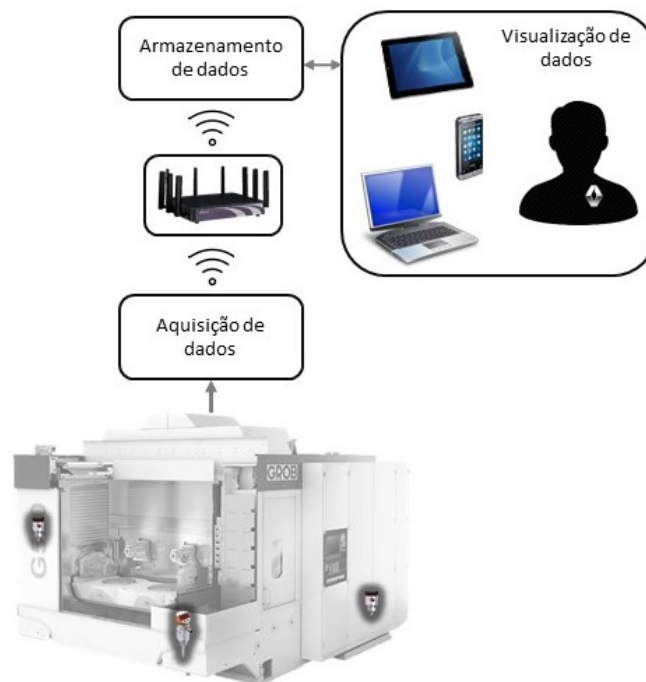


Figura 4.2: Arquitetura elaborada para o projeto

Capítulo 5

Implementação

Com base no estudo feito até ao presente momento e nas necessidades e requisitos estabelecidos por parte da equipa de manutenção do departamento de motores da Renault CACIA, foram desenvolvidas algumas soluções que visam a integração de um sistema de monitorização contínua num equipamento de produção industrial. O equipamento em questão é um centro de maquinação GROB BZ 40 CS, inserido numa linha de produção de bombas de óleo com um total de 8 centros CNC com o mesmo modelo.

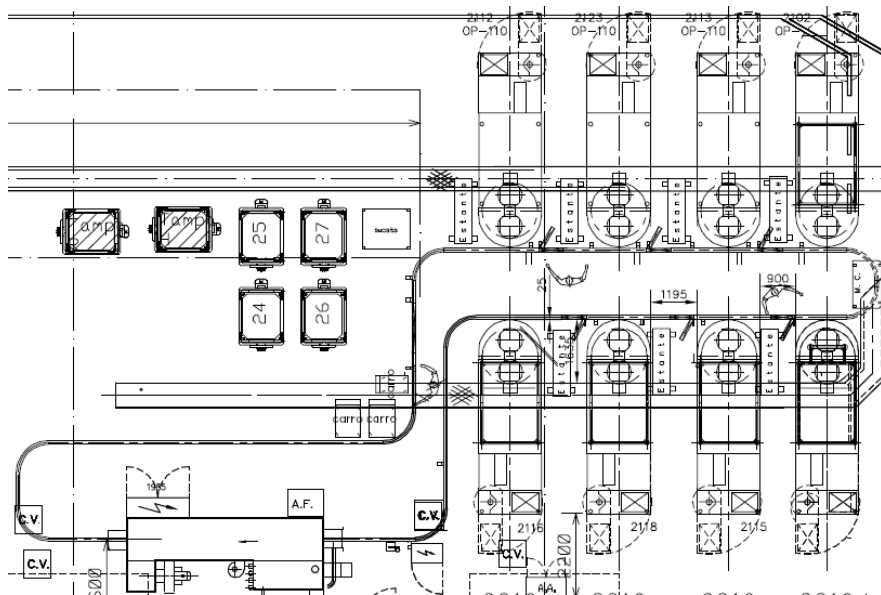


Figura 5.1: Ilha de maquinação da linha da bomba de óleo de geometria variável (Adaptado de [8])

5.1 Diagrama de implementação

O diagrama de implementação do projeto desenvolvido encontra-se ilustrado na Figura 5.2, tendo como base uma estrutura comum em sistemas de supervisão e controlo (SCADA). Desta forma, o presente capítulo foi estruturado de modo a servir de guia, descrevendo e transmitindo de uma forma organizada e resumida todos os aspetos de de-

envolvimento e implementação do projeto, facilitando assim a visão geral e interpretação do mesmo.

Numa primeira fase, na secção 5.2, é abordada e descrita toda a fase inicial que consiste na capacitação do equipamento GROB para que seja possível efetuar a aquisição de dados idealizados para esta fase do projeto, tais como temperaturas, pressões e níveis. Inicia na definição dos parâmetros a monitorizar, indo até à escolha de sensores e a sua instalação.

Posteriormente, na secção 5.3 são apresentadas três soluções distintas desenvolvidas para efetuarem a aquisição, leitura e envio dos dados recolhidos. É dado especial ênfase às suas diferentes etapas de desenvolvimento, elementos constituintes e as suas potencialidades. Todas as soluções possuem características e gamas de preço bastante distintas, partilhando a particularidade de possuir Wi-Fi, sendo este um requisito inicial de todo o projeto de modo a inseri-lo dentro da filosofia da Indústria 4.0.

No primeiro bloco desta secção encontra-se o primeiro protótipo desenvolvido para esta solução, tem como hardware base um Arduino Nano para leitura e tratamento do sinal analógico e um Esp8266, de modo a introduzir conexão e envio de dados via Wi-Fi. A comunicação entre ambos é feita através de porta série sendo as entradas analógicas protegidas através de opto-isoladores, de modo a prevenir eventuais danos no hardware.

O segundo bloco apresenta uma solução com base na plataforma Raspberry Pi 3 e (tendo em conta a sua falta de GPIO para leitura analógica) uma ADC, neste caso o MCP3008. A fase inicial do processo é garantida pelo MCP, que converte as leituras analógicas em sinais digitais que serão interpretados, tratados e enviados via Wi-Fi para a base de dados pelo Raspberry. A comunicação entre ambos é feita através de uma ligação SPI. Analogamente ao que foi feito no primeiro protótipo, também foi feita a proteção de cada entrada analógica recorrendo ao opto-isolamento, de modo a evitar danos no equipamento em caso de mau funcionamento ou instalação de sensores na entrada analógica.

No terceiro bloco, apresentando-se como a solução mais conservadora e em teoria mais robusta, tem como principal hardware um PLC Siemens S7-1200 com cartas de leitura analógica acopladas e um Raspberry Pi 3. Neste caso o PLC estará responsável pela aquisição e tratamento de sinal, enquanto o Raspberry irá servir como elo de ligação Wi-Fi entre o PLC e a base de dados, fazendo o envio de dados adquiridos com o auxílio da biblioteca "SNAP7" criada especificamente para o efeito.

A rede *Shopfloor* das instalações da Renault CACIA é abordada na secção 5.4, dando ênfase às restrições e requisitos impostos aos dispositivos que a ela estão ligados.

O servidor de base de dados e servidor web, abordados na secção 5.5, são a ligação entre todo o processo abordado até então e a vertente de tratamento de dados, interface gráfica e posterior sistema de monitorização a adotar. Nela será possível perceber os princípios de funcionamento da base de dados adaptado, desde a estrutura das tabelas e parâmetros incluídos nas mesmas, aos requisitos impostos pela interface do projeto.

Esta interface encontra-se descrita na secção 5.6, onde serão abordados os principais objetivos propostos para a mesma e as interações resultantes entre si e a base de dados.

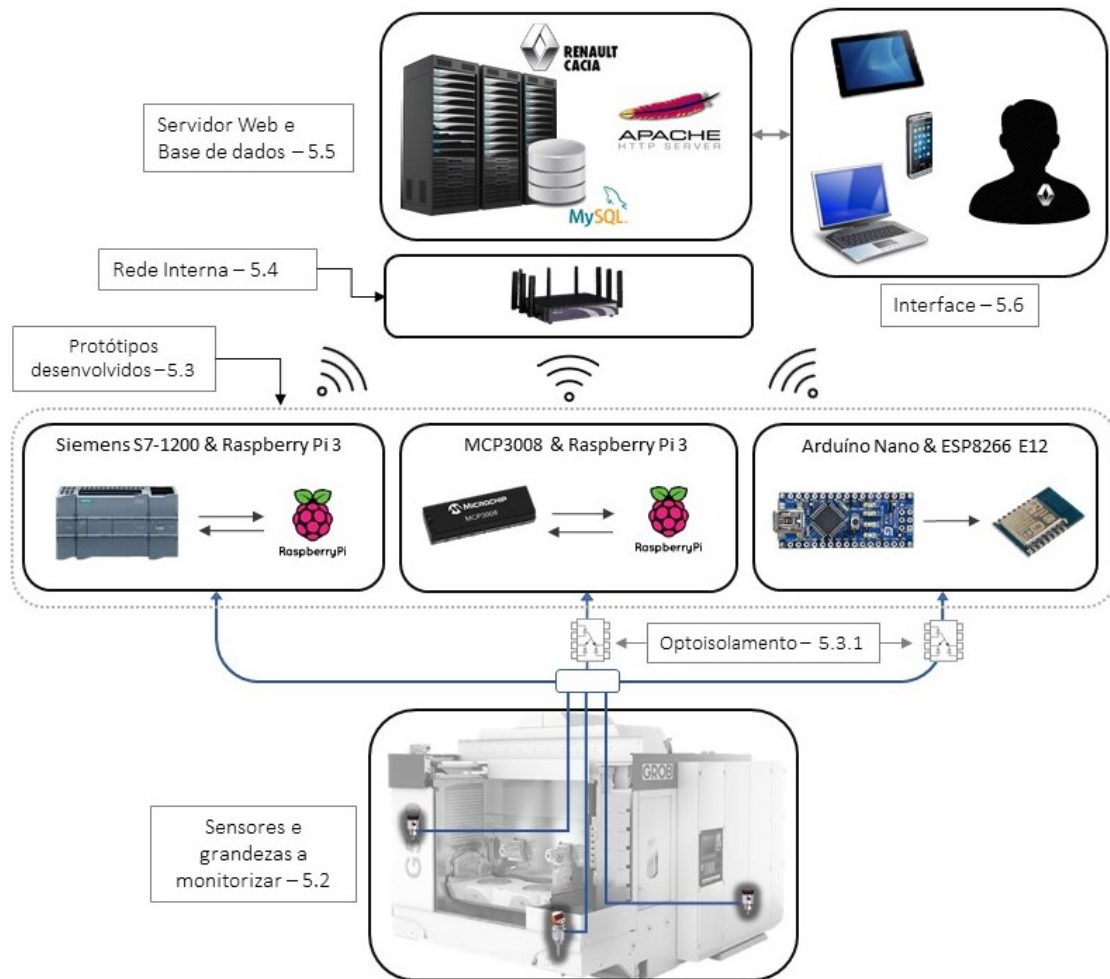


Figura 5.2: Diagrama de soluções desenvolvidas

5.2 Sensores

Devido à aplicação pretendida e às características dos protótipos desenvolvidos, foram usados sensores com saída de sinal analógico, havendo assim a possibilidade de efetuar a aquisição de sinal através das soluções desenvolvidas, sem estar dependente do uso de software de aquisição de dados por sinal digital. A escolha do fornecedor dos sensores foi feita de modo interno pelas equipas responsáveis pela manutenção, tendo recaído sobre a "IFM electronic ltda", um distribuidor mundial de sensores e sistemas de monitorização industriais que tem um alargado historial de cooperação com a Renault CACIA.

5.2.1 Parâmetros a monitorizar

A primeira etapa da implementação prende-se com a elaboração de uma lista de parâmetros que se consideram pertinentes a monitorizar nesta fase do projeto, assim como a definição do seu nível de importância e limites admissíveis. Esta seleção tem como principais critérios de escolha os sistemas ou elementos do equipamento mais suscetíveis à ocorrência de avarias severas que levam à necessidade de efetuar interrupções forçadas

do equipamento para efeitos de reparação e manutenção. Desta forma foram elaboradas duas tabelas com o objetivo de sintetizar o processo de escolha de sensores. Na tabela 5.1 encontram-se os sistemas e parâmetros a monitorizar no equipamento, a sua designação e os intervalos definidos para cada um deles pela equipa de manutenção da Renault CA-CIA. Na tabela 5.2 é feita a correspondência entre os parâmetros definidos anteriormente e os sensores escolhidos para esse efeito. Embora para os parâmetros SN1, SN2 e SN3 se utilize o mesmo modelo de sensor, os intervalos de funcionamento são diferentes devido ao uso de sondas com diferentes tamanhos, fazendo a adaptação do sensor às dimensões de cada um dos depósitos em que são aplicados.

Tabela 5.1: Parâmetros a controlar e respectivos limites

Sistema	Parâmetros		Intervalo admissível
Lubrificação central	Pressão bomba	SP1	25 - 32 bar
	Nível do depósito	SN1	40 - 125 mm
Refrigeração árvore	Nível do depósito	SN2	100 - 200 mm
	Temperatura fluido	ST1	20 - 24 °C
Quadro eléctrico	Temperatura interior	ST3	10 - 45 °C
Hidráulico	Temperatura fluido	ST2	15 - 55 °C
	Nível fluido	SN3	200 - 500 mm
	Pressão bomba	SP3	90 - 110 bar
Pneumático	Pressão geral do circuito	SP4	5 - 7 bar
	Pressão lubrificação cone árvore	SP5	2.5 - 3.5 bar
Óleo corte	Pressão bomba	SP2	30 - 80 bar
Aperto peça	Pressão bomba	SP6	70 - 90 bar

Tabela 5.2: Sensores escolhidos e intervalos de funcionamento

Parâmetro	Modelo	Intervalo de funcionamento
SP1	IFM PA3022[62]	0-100 bar
SN1	IFM LR3000[63]	0-150 mm
SN2	IFM LR3000	0-450 mm
ST1	IFM TD2297[64]	(-50) - 150 °C
ST3	IFM TA2105[65]	(-50) - 150 °C
ST2	IFM TD2297	(-50) - 150 °C
SN3	IFM LR3000	0-500 mm
SP3	IFM PA3021[66]	0-250 bar
SP4	IFM PT5404[67]	0-10 bar
SP5	IFM PT5404	0-10 bar
SP2	IFM PA3022	0-100 bar
SP6	IFM PA3022	0-100 bar

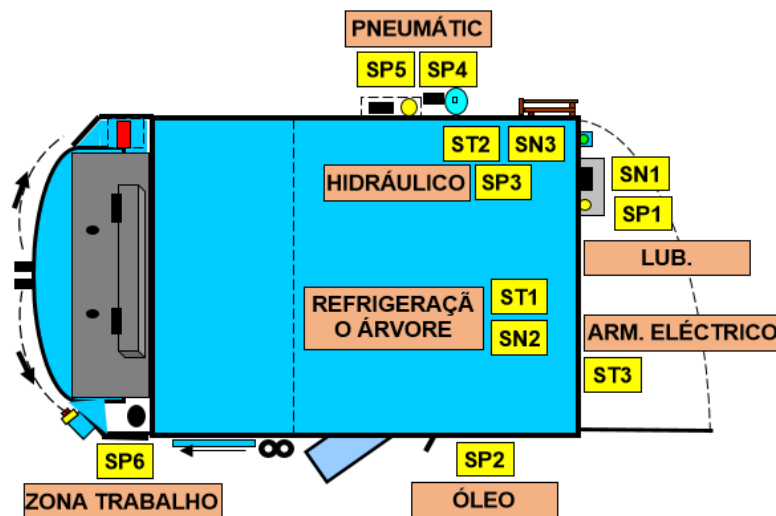


Figura 5.3: Sinoptico do centro de maquinaria Grob BZ 70 LS

5.3 Protótipos desenvolvidos

Fazendo uso das enormes potencialidades aliadas a um baixo custo trazidas pelas plataformas IoT, foram desenvolvidos três protótipos com o intuito de criar soluções para efetuar a aquisição de sinais analógicos e posterior envio via Wi-Fi para uma base de dados. Com base no hardware de cada um destes, irão enquadrar-se em diferentes categorias de preço, precisão e robustez, sendo o objetivo final o teste no terreno das 3 soluções e posterior elaboração de resultados que possibilitem uma comparação final do seu desempenho

5.3.1 Circuito de optoisolamento

IL300 - Características e princípios de funcionamento

Neste projeto foi usado para efeitos de proteção de circuitos o opto-isolador IL300 desenvolvido e distribuído pela Vishay [68], que se encontra representado na figura 5.4. Este chip tem como principais características o facto de ser linear, ter um consumo muito baixo (menos de 15mW) e ter como elemento emissor um IRLED (pinos 1 e 2) e dois fotodíodos a efetuar a receção.

A emissão por parte do LED de infravermelhos é feita bi-direccionalmente, no sentido K1 e K2. A maior percentagem de fluxo emitido irá seguir o sentido K2, indo diretamente para o recetor que controla o sinal de saída para o circuito secundário. Uma percentagem mais pequena irá no sentido K1, indo de encontro a um recetor que servirá para gerar um sinal de controlo que poderá ser usado para efetuar correções na entrada de corrente do pino 2, melhorando a linearidade do sistema.

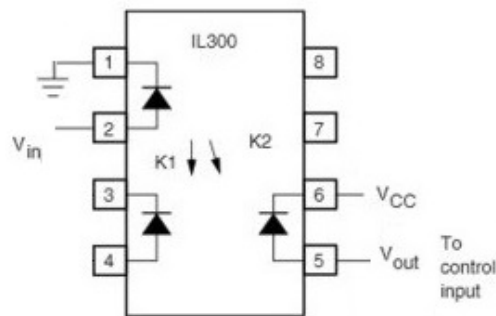


Figura 5.4: Esquema de ligações do opto-isolador IL300

Calibração do sistema e Redução de ruído do sinal

Tendo como objetivo a leitura de sinal analógico proveniente de sensores industriais e posterior geração de um sinal equivalente com tensão variável entre 1 e 5 Volts, foram consultadas as informações disponibilizadas pelo fabricante do chip[69] de modo a elaborar o circuito pretendido. Assim, existirá uma resistência $R1$ à entrada do emissor e uma resistência $R2$ à saída, com ligação ao *ground*, tal como se encontra representado na figura 5.5.

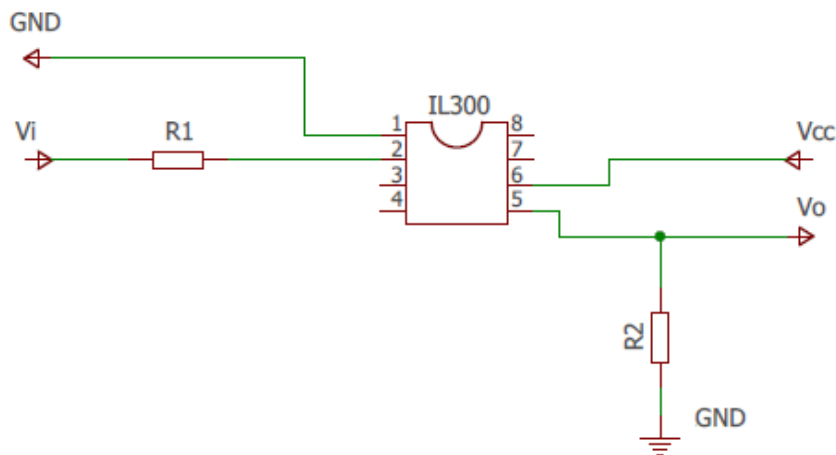


Figura 5.5: Esquema de ligações simplificadas para IL300

Para testar a linearidade do sistema projetado e efetuar eventuais calibrações adicionais, foi elaborado um teste laboratorial com o objetivo de recolher os dados necessários para o estudo em causa. Na figura 5.6 está representada a montagem efetuada para a realização do teste. De modo a adquirir a tensão de entrada no chip, foi necessário simular o sinal gerado por um sensor industrial de maneira que fosse facilmente manipulável, tendo sido usada uma fonte de tensão regulável Velleman PS 613, com um output regulável entre 0 e 30 Volts DC. Foi usado um amperímetro à saída da fonte de tensão variável de modo a controlar a corrente de entrada no chip e um voltímetro à saída do mesmo, para controlar o sinal gerado. Foi também adicionado um condensador à saída do IL300 de modo a reduzir o ruído no seu sinal de saída.

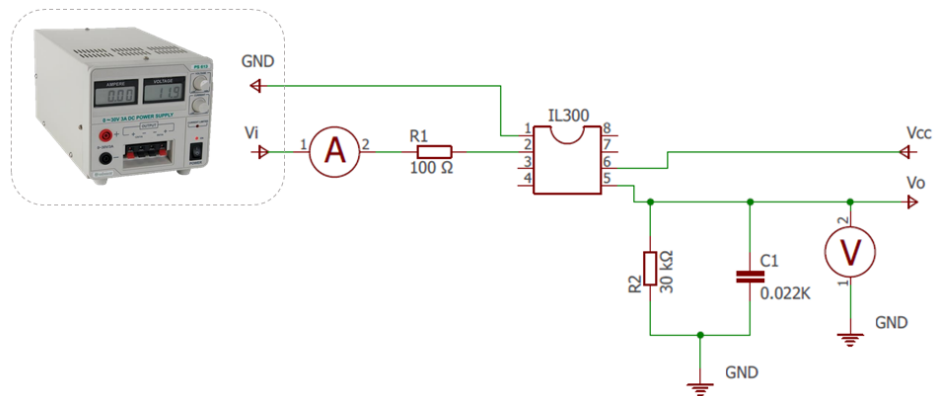


Figura 5.6: Esquema de ligações do teste de linearidade do chip IL300

Os resultados do teste encontram-se representados no gráfico ilustrado na figura 5.7. Pela análise e comparação das duas retas, verifica-se que se atingiu uma linearidade aceitável, embora ligeiramente afastada da ideal. A justificação pode ser dada por vários fatores inerentes a montagens experimentais e a eventual simplificação no esquema usado na montagem do IL300, deixando de fora o canal de servo alimentação que poderia corrigir eventuais desvios mais acentuados.

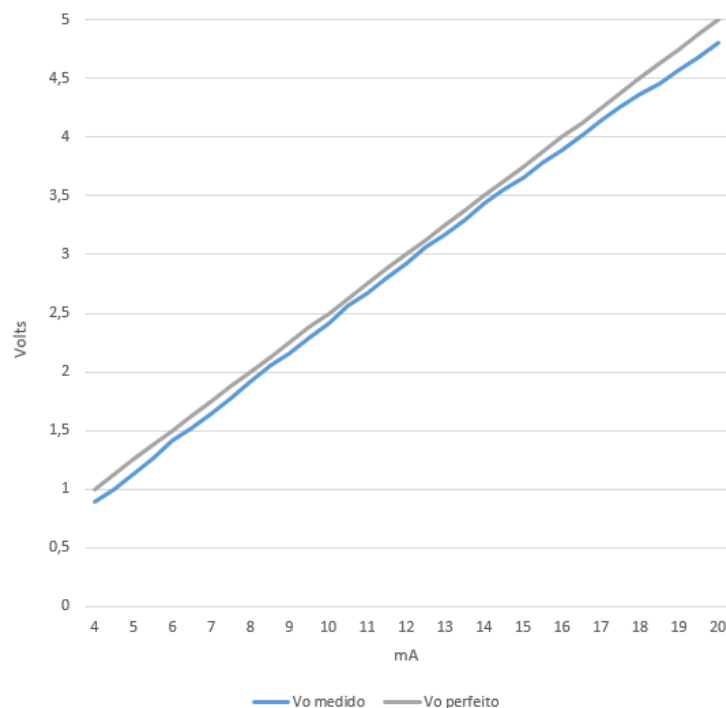


Figura 5.7: Resultados experimentais da calibração do chip IL300

Com o intuito de perceber se esta diferença na linearidade entre as duas retas pode ser corrigida a nível de software com a introdução de um hardware no sistema, foi feito um novo teste laboratorial. Neste foi introduzido um Arduino Nano, que efetua a leitura do sinal de saída do IL300 e as corrige segundo uma regressão linear. Os resultados deste

segundo teste estão representados no gráfico da imagem 5.8. Como se pode verificar, a leitura efetuada pelo Arduino é extremamente próxima da linearidade ideal, havendo apenas uma maior discrepância no intervalo entre os 4 e os 6 mA. Assim é possível concluir que o sistema de optoisolamento desenvolvido apresenta potencial para ser usado em aplicações a desenvolver no decorrer do projeto de dissertação.

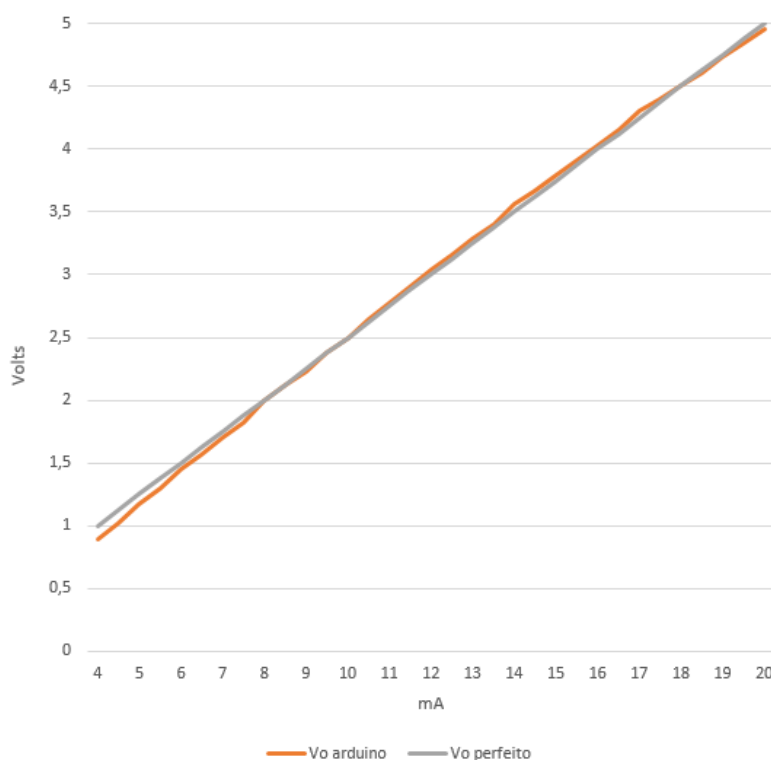


Figura 5.8: Calibração digital do sinal de saída do circuito de opto-isolamento usando Arduino

5.3.2 Placa de aquisição de sinais analógicos optoisolada (Arduino/Esp8266)

Tendo sido o primeiro protótipo desenvolvido no âmbito deste projeto de dissertação, tem como objetivo conciliar todo o potencial conferido pelo Wi-Fi da plataforma Esp8266 à flexibilidade da plataforma Arduino, aliadas a um tamanho reduzido.



Figura 5.9: Solução Arduino - ESP8266

Leitura analógica e processamento de dados

A leitura dos sinais analógicos fornecidos pelos sensores fica neste caso a cargo do Arduino Nano, que alia as suas reduzidas dimensões a 8 entradas de leitura analógica, com um limite de tensão de entrada de 5.5 Volts e 10 bits de resolução cada. O intervalo mínimo de leitura é dado pela divisão do valor máximo de tensão recebida nas entradas a dividir pela resolução dessa mesma entrada. Neste caso cada entrada tem 10 bits, resultando numa resolução de 1024. Supondo uma variação de 1 a 5 Volts, o intervalo mínimo de leitura será dado pela divisão dos 4 volts de diferença pela resolução das entradas, resultando numa resolução de leitura de 3.9mV. Para proteger a integridade do *hardware* na eventual ocorrência de falhas nos sensores que levem a picos de tensão ou curtos circuitos na saída analógica, foi usado o sistema de opto-isolamento com base no chip IL300 desenvolvido anteriormente.

Efetuada a leitura analógica, é feito o tratamento e conversão para as unidades de medida desejadas. É essencial que sejam decretados previamente os intervalos de funcionamento dos sensores de modo a que a conversão para os valores finais desejados seja feita diretamente pelo Arduino Nano. Ou seja, tendo como exemplo um sensor de temperatura que será calibrado para registar um mínimo de 10°C e um máximo de 90°C, os valores de tensão analógica registada serão de 1 e 5 Volts respetivamente (considerando o output já estudado do IL300). Assim, para efetuar a conversão para temperatura, o valor registado pela entrada irá variar entre 205 (1 Volt) e 1024 (5 Volts), sendo a conversão feita através de uma regressão linear ajustada aos valores decretados. Este processo terá de ser repetido para cada uma das entradas, consoante o intervalo de valores a medir.

Comunicação série entre hardware

Depois de tratados e processados, os dados serão enviados da plataforma Arduino para o chip Wi-Fi ESP8266 através das portas de comunicação série. A linguagem de programação é a mesma para estes dois componentes, simplificando o processo de envio e receção. Em baixo é apresentado um excerto de código proveniente da programação do Arduino que efetua o início da comunicação série e o envio de uma mensagem estruturada. Este envio é efetuado de forma contínua, com um intervalo definido no final das mensagens através da função de *delay()*;

Código Fonte 5.1: Código exemplo para leitura de entrada analógica e envio por porta série.

```
// ----- declaração de variaveis -----  
int analogpin0 = 0;  
int val0=0;  
int temp0=0;  
//-----  
void setup()  
{  
  Serial.begin(9600); // Inicia comunicação Série  
  delay(1000);  
}  
void loop()  
{
```

```

// Efectua as leituras nas entradas analógicas e converte os valores
// para as unidades desejadas
val0= analogRead(analogpin0);
// Envia as Leituras através da porta série
Serial.print(temp0);
Serial.print(";");
...
Serial.println("|");
delay(1000); // Faz um delay de 1000ms (1 segundo)
}

```

No outro lado da comunicação, o ESP8266 efetua a leitura da mensagem até reconhecer o caractere "que indica o fim da mensagem.

Código Fonte 5.2: Exemplo de código para leitura de porta série.

```

// ----- Declaração de variáveis -----
int val;
String inString = "";
// -----
void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Inicia a Ligação Série
}
void loop()
{
  if(Serial.available() > 0) // Verifica se existe ligação pela porta
    série
  {
    char inChar = Serial.read(); // Faz a leitura da porta série
    if (isDigit(inChar)) // Se for um dígito
    {
      inString += (char)inChar; // Constroi a string
    }
    ...
    if (inChar == '|') // Se detecta caractere finalizador de string
    {
      val = inString.toInt(); // Converte a string criada para
        Inteiro e guarda numa nova variavel
      inString = ""; // "Apaga" o conteúdo da string usada
        anteriormente
    }
  }
}

```

Tendo em conta que o Arduino Nano efetua a comunicação a 5 Volts, enquanto que do lado oposto o ESP8266 tem uma tensão máxima admissível de 3.3 Volts, foi necessário introduzir um divisor de tensão entre as portas de comunicação. Para isso, recorreu-se ao esquema representado na figura 5.10 e à respetiva fórmula, que permite calcular o valor das resistências, tendo em conta o valor da tensão de entrada e a tensão de saída correspondente. Como se pretende que o máximo recebido pelo ESP8266 seja de 3.3 Volts, teremos que para um valor de V_{in} de 5 Volts e fazendo uso de resistências $R1 = 1.5\text{ k}\Omega$ e $R2 = 3\text{ k}\Omega$, o valor de V_{out} será de 2.5 Volts, estando dentro do limite pretendido.

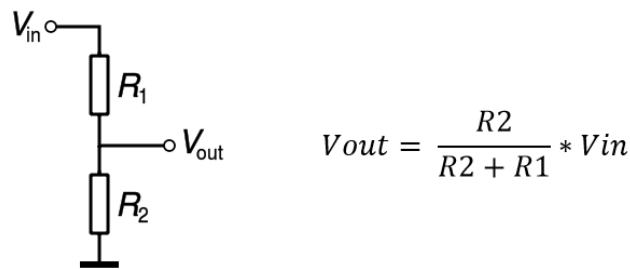


Figura 5.10: Divisor de tensão

Ligação e envio de dados para a base de dados

Para este protótipo, o envio de dados para o servidor de base de dados não é feito de forma direta. Inicialmente o envio será feito para o servidor web, que direciona a mensagem construída para um interpretador PHP, que posteriormente envia os dados recolhidos para o servidor de base de dados. Os servidores usados no decorrer do projeto foram o "MySQL" para a base de dados e "Apache" para servidor *web*, sendo abordados ao longo da secção 5.5.

O excerto de código em baixo apresenta a ligação à rede Wi-Fi e a construção e envio da mensagem para o servidor Apache. Esta solução de envio foi usada em detrimento da biblioteca de ligação direta ao servidor MySQL por motivos de fraco desempenho da última.

Código Fonte 5.3: Exemplo de código para envio de dados para o servidor com interpretador PHP.

```

if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) //Estabelecer e testar a ligação
  WiFi
{
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { // Fica preso no ciclo
    while enquanto não efetua a ligação
  }
}
//-----
void database(int input_number, String AI_value)
{
  if (client.connect(server_ip, server_port)) //Ligar ao servidor
  {
    send_db = String("GET /preditiva/database.php?") +
      "user=" + db_user +
      "&password=" + db_password +
      "&equipment=" + equipment +
      "&input=" + input_number +
      "&value=" + AI_value;

    client.println(send_db); // Envia a string para o servidor
    client.stop();
  }
}

```

Interações entre hardware

Com o objetivo de sintetizar todas as interações entre o hardware presentes neste protótipo, foi elaborado o diagrama ilustrado na figura 5.11, mostrando o ciclo de funcionamento de cada plataforma.

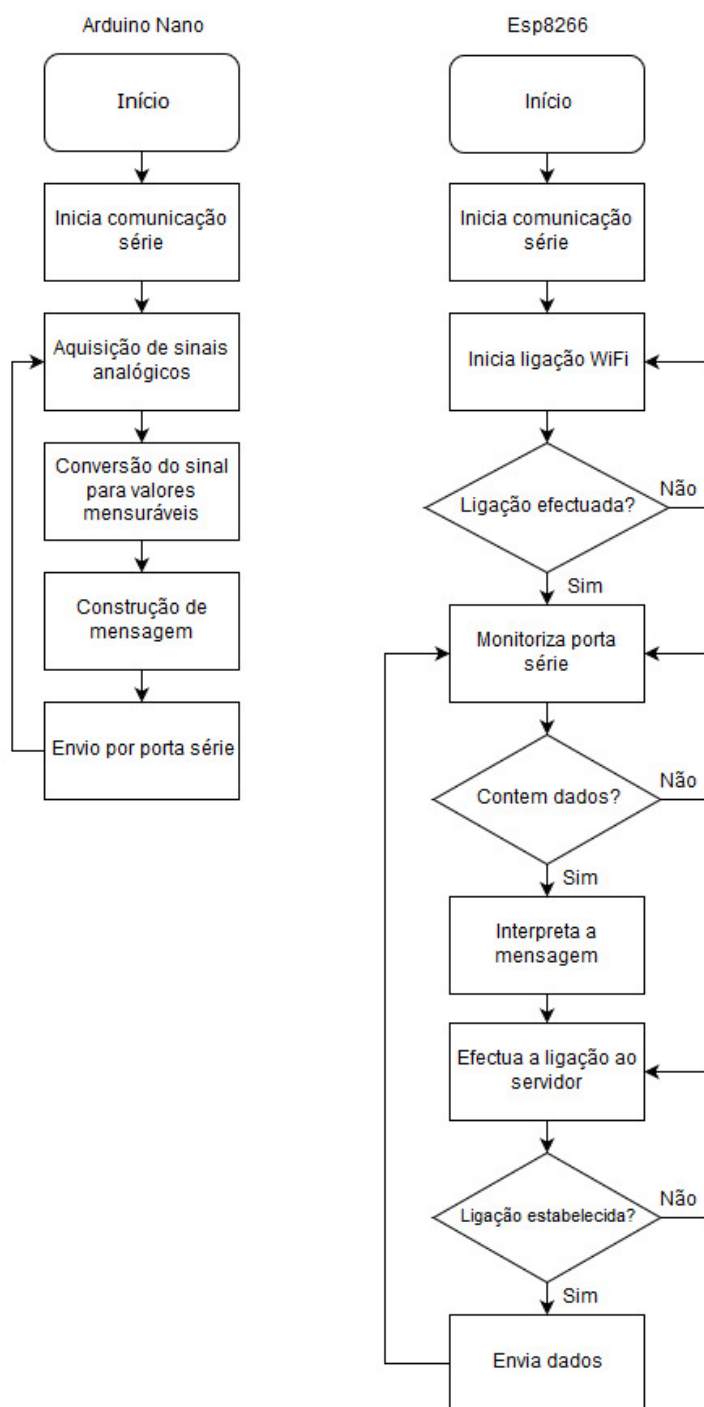


Figura 5.11: Fluxograma da solução Arduino com ESP8266

Esquema de protótipo e placa PCB

Na figura 5.12 encontra-se representado um esquema resumo que ilustra o estado final do protótipo, tendo apenas uma entrada analógica representada, de modo a obter uma representação mais compreensível. Fazendo a análise da parte superior para inferior, é representada em primeiro lugar a alimentação, feita através de um conversor Hi-link com input de 100 a 240 Volts AC para 5 Volts e 0.6 Amperes DC, de seguida, o circuito de opto-isolamento e em baixo a ligação entre as duas plataformas Arduino.

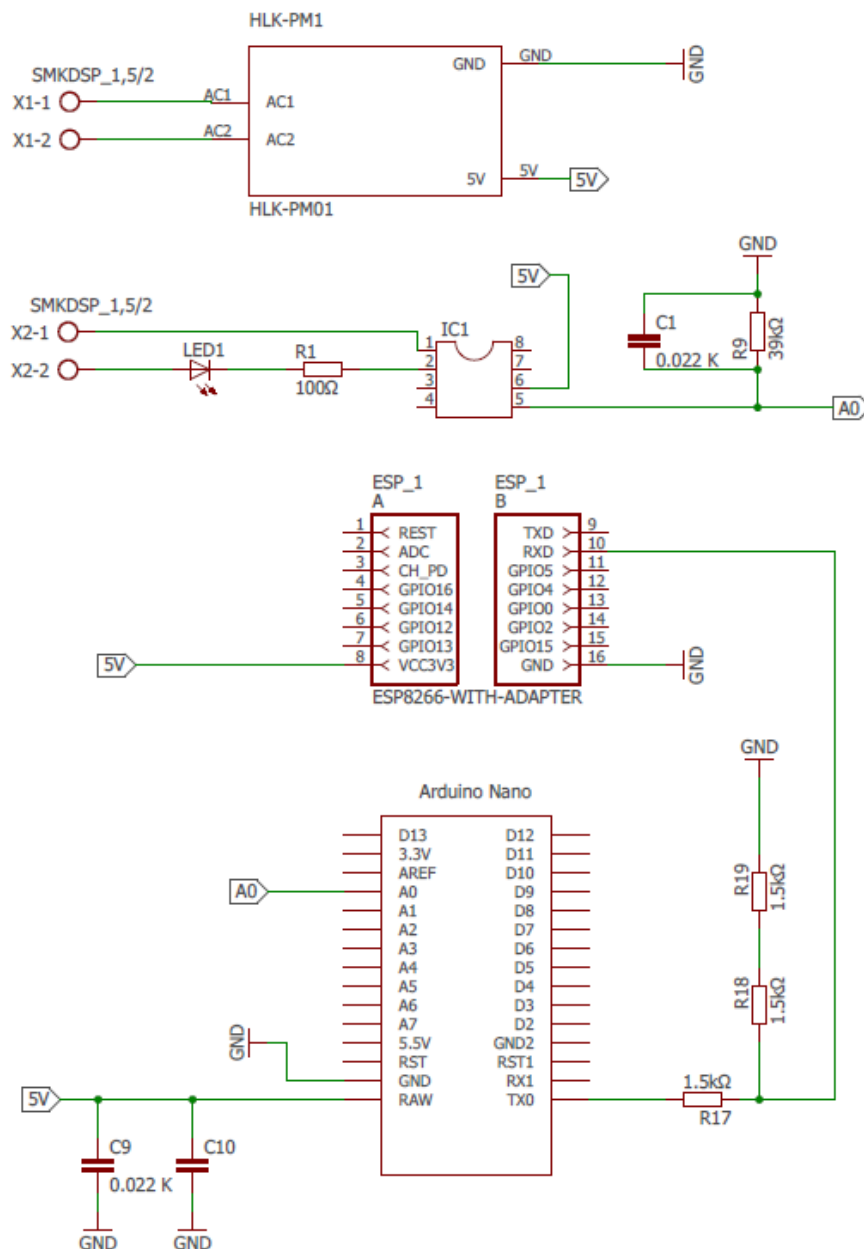


Figura 5.12: Esquema simplificado de protótipo Arduino Nano / ESP8266

As placas PCB foram desenvolvidas no *software Eagle* da *Autocad*, transformando

todo o processo de desenvolvimento e prototipagem feito até então num protótipo com robustez suficiente para a aplicação em ambientes reais.

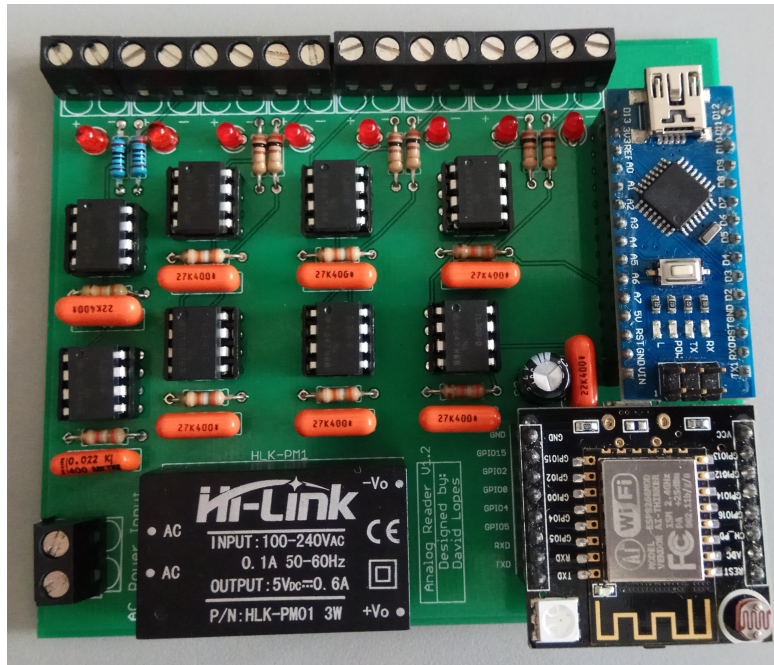


Figura 5.13: Placa PCB desenvolvida para o protótipo Arduino / ESP8266

5.3.3 Placa de aquisição de sinais analógicos optoisolada (Raspberry Pi 3/MCP3008)

Apesar do incrível potencial, desempenho e versatilidade da plataforma Raspberry Pi 3, este não possui qualquer GPIO dedicado a leitura de sinal analógico. Deste modo foi desenvolvido um protótipo que contorne esta lacuna do hardware. O objetivo deste protótipo passa por criar *shields* de leitura analógica que possam ser aplicadas em cascata no Raspberry Pi 3, criando um produto final o mais compacto possível. Nesta secção será abordado todo o processo de desenvolvimento, estando toda a informação técnica relacionada com o mesmo documentada no apêndice B.

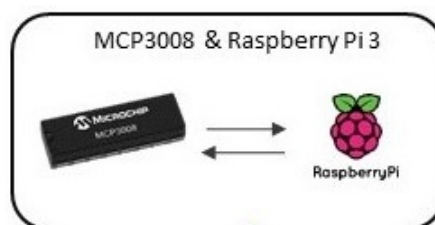


Figura 5.14: Solução Raspberry Pi 3 - MCP3008

Leitura Analógica

Para a aquisição de sinal analógico foi usada a ADC MCP3008, utilizando também o circuito de opto-isolamento já usado anteriormente. Tal como no protótipo descrito na secção 5.3.2, o sinal de entrada na placa será em corrente (4 a 20 mA) e com o circuito IL300 será convertida para tensão (0 a 5 Volts), de modo a ser lida pela ADC.

De modo a manter o tamanho desta *shield* semelhante ao do Raspberry Pi 3, foi limitado o tamanho de cada placa de aquisição de sinal analógico. Desta forma cada placa irá conter um MCP3008, ficando capacitada para receber 8 sinais analógicos.

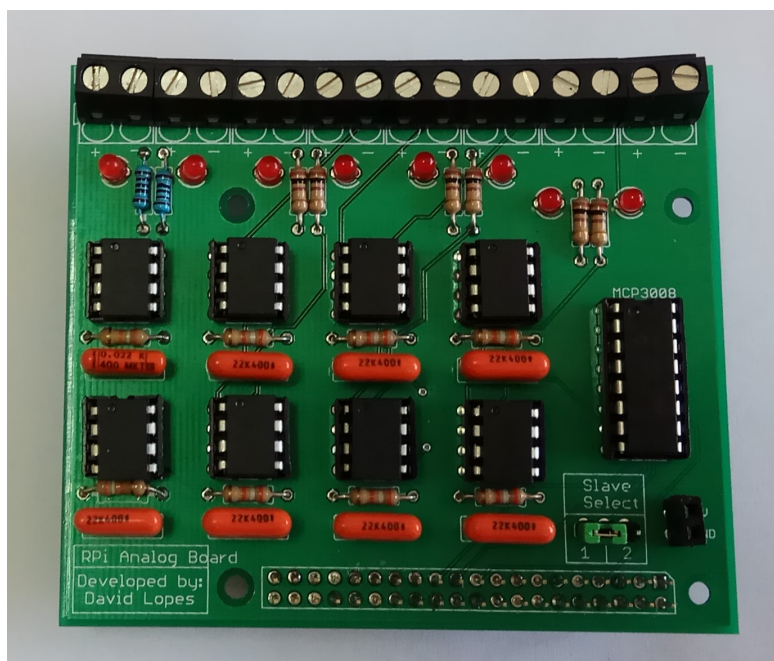


Figura 5.15: Placa de aquisição de sinais analógicos desenvolvida para o protótipo Raspberry Pi 3 / MCP3008

Comunicação SPI

A comunicação com a ADC MCP3008 é estabelecida através do protocolo SPI, sendo necessário habilitar este tipo de comunicação nas opções do Raspberry Pi 3. É utilizado o comando `"sudo raspi-config"` no terminal, seleccionando de seguida `"Interfacing Options>SPI>Yes"`. Com este processo concluído, é necessário efetuar as ligações entre os GPIO's do Raspberry dedicados a este protocolo de comunicação e os pinos da ADC. Consultando o *pinout* de ambos, é possível elaborar o esquema representado na figura 5.16.

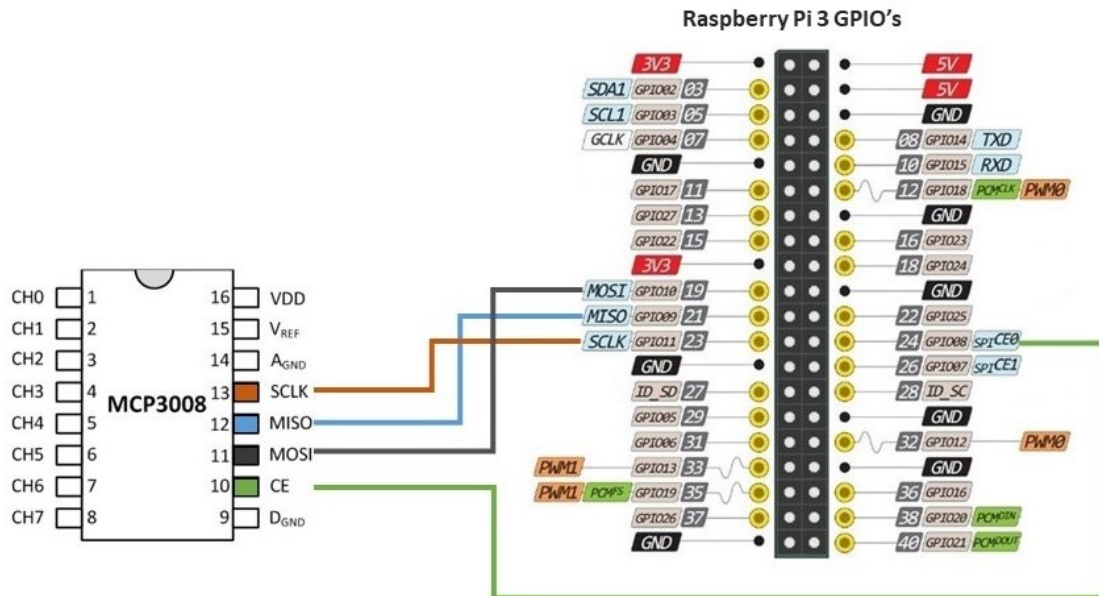


Figura 5.16: Ligações de comunicação SPI do protótipo Raspberry Pi 3 / MCP3008

O pino 19 será o MOSI, pino 21 MISO, pino 23 SCLK e os pinos 24 e 26 (CE0 e CE1 respetivamente) são usados para *slave select*. Ou seja, em teoria teremos um máximo de dois *slaves* a efetuar leituras, limitando o protótipo a duas *shields* de leitura analógica. As placas desenvolvidas têm 3 pinos dedicados à escolha do *slave* (figura 5.17), sendo a ligação feita usando um *jumper* entre o pino do meio e o pino da esquerda para o *slave* 1 (CE0) e o da direita para o *slave* 2 (CE1).



Figura 5.17: Pinos dedicados à escolha do *slave* da placa de aquisição de sinais analógicos

Foi elaborado um *software* em linguagem "C" com dois processos em paralelo, onde um deles é executado em *loop* de forma contínua na comunicação e receção de dados da ADC. Para essa função foi utilizada a biblioteca "BCM2835"[3], que possibilita o uso e manipulação dos GPIO's da plataforma Raspberry para utilização em programas desta natureza. É apresentado um excerto de código que exemplifica uma comunicação e aquisição de dados lidos pelo MCP3008. No final do processo é adquirido um valor retirado da leitura analógica, identificado no código como "ADC1_n0".

Código Fonte 5.4: Exemplo de código para comunicação com MCP3008 e aquisição de dados

```
#include <stdio.h>
#include <bcm2835.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>

long ADC1_n0;

uint8_t mosi0[24] = {0x01,0x80,0x00}; // Mensagem a enviar para a ADC
uint8_t miso0[24]; // String para guardar a resposta da ADC
uint8_t ADC2_miso0[24];
char mcp1_num0[20];

//-----
// Função de leitura do Channel 0 da ADC MCP3008
//-----
void read_ADC_1()
{
    bcm2835_spi_transfernb(mosi0,miso0,3); // envia mensagem para
    a ADC com identificador da entrada pretendida e grava
    resposta na string miso0
    snprintf(mcp1_num0, sizeof mcp1_num0, "%02x%02x%02x", miso0
    [0], miso0[1], miso0[2]); // Grava na string mcp1_num0 os
    bytes de resposta que estão no miso0
    ADC1_n0= strtol(mcp1_num0,NULL,16); // Conversão da string
    gerada anteriormente para o formato long decimal
}

int main(int argc, char **argv)
{
    if (!bcm2835_init()){
        return 1;
    }

    // Configuração Ligação SPI
    bcm2835_spi_begin();
    bcm2835_spi_setBitOrder(BCM2835_SPI_BIT_ORDER_MSBFIRST);
    bcm2835_spi_setDataMode(BCM2835_SPI_MODE1); //Data comes in
    on falling edge
    bcm2835_spi_setClockDivider(BCM2835_SPI_CLOCK_DIVIDER_8192);
    //250MHz(Rpi2) or 400MHz(RPi3) / 512 = 488.28kHz(RPi2) or
    781.25kHz(RPi3)

    bcm2835_spi_chipSelect(BCM2835_SPI_CS0); //Slave Select on CE0
    bcm2835_spi_setChipSelectPolarity(BCM2835_SPI_CS0, LOW);

    read_ADC_1();
    bcm2835_spi_end(); // Termina a comunicação SPI com a ADC
    seleccionada
    bcm2835_close(); // Termina a comunicação SPI geral
    return 0;
}
```

Existe uma necessidade acrescida de abordar a configuração da ligação feita no código

exposto, pois foi feita consoante as exigências da ADC a nível de comunicação. A consulta desta informação pode ser feita a secção B.1.2 do apêndice B.

Dentro da configuração efectuada, existem duas funções essenciais para o sucesso da comunicação:

A função `bcm2835_spi_setBitOrder()`, para a qual existem dois argumentos que podem ser usados (apresentados na Tabela 5.3). Para o caso do MCP3008 terá de ser usado o modo com o bit mais significativo a ser enviado primeiro.

Tabela 5.3: Modo bit mais significativo da biblioteca `bcm2835`

<code>BCM2835_SPI_BIT_ORDER_MSBFIRST</code>	Most significant bit first
<code>BCM2835_SPI_BIT_ORDER_LSBFIRST</code>	Least significant bit first

A função `bcm2835_spi_setDataMode()`, com quatro argumentos de entrada possíveis, que se encontram listados na tabela 5.4. Esta irá configurar a polaridade do relógio do chip (CPOL) e a sua fase (CPHA), estando a sincronização de cada um dos modos disponíveis esquematizada na figura 3.11, representada anteriormente neste documento. Neste caso, terá de ser usado o modo 1 (CPOL=0 e CPHA=1), sendo o envio coordenado pelos pulsos a 1 do SCLK e os *bits* da mensagem enviados após esse pulso.

Tabela 5.4: Modos de operação da biblioteca `bcm2835` [3]

<code>BCM2835_SPI_MODE0</code>	CPOL = 0	CPHA = 0
<code>BCM2835_SPI_MODE1</code>	CPOL = 0	CPHA = 1
<code>BCM2835_SPI_MODE2</code>	CPOL = 1	CPHA = 0
<code>BCM2835_SPI_MODE3</code>	CPOL = 1	CPHA = 1

Ligação e envio para base de dados

A ligação à base de dados MySQL é efectuada usando a biblioteca `"mysql/mysql.h"` de ligação a estas bases de dados para a linguagem de programação usada. Inicialmente é criada uma nova ligação à base de dados e é ativada a opção de reestabelecer ligação em caso de falha de rede ou servidor. De seguida é usada a função `mysql_real_connect()` com o cliente gerado inicialmente, o IP da base de dados, o nome de utilizador, password e nome da base de dados como argumentos. Se a ligação for efectuada, a função irá retornar 1, caso contrário retorna 0.

Código Fonte 5.5: Exemplo de código para envio de dados para a base de dados MySQL

```
//-----
//                               Conexão à Base de Dados
//-----
#include <mysql/mysql.h>

MYSQL *mysql_1; // Cria uma nova ligação MySQL

int Connect_Database()
{
```



```

mysql_1=mysql_init(NULL); // Gera um cliente para a conexão
    com a base de dados
my_bool reconnect = 0;
mysql_options(mysql_1, MYSQL_OPT_RECONNECT, &reconnect); //
    Enable da reconecção automática

if(!mysql_real_connect(mysql_1,"host","user","passwd","
    database",NULL,0))
{
    return 1; // Ligação efectuada
}
else
{
    return 0; \\ Ligação falhada
}
}

```

No seguinte excerto de código apresentado são apresentadas as *queries* enviadas para a base de dados de modo a fazer o envio do valor lido anteriormente, inserindo o mesmo numa tabela de histórico de leituras e numa tabela de monitorização. Este envio é feito através da função *mysql_query()*, presente na biblioteca de comunicação com bases de dados MySQL, tendo como argumentos de entrada o cliente de ligação criado anteriormente e a string a enviar.

Código Fonte 5.6: Mensagem enviada para atualização de dados adquiridos e criação de histórico para base de dados MySQL

```

// Construção das string de queries
snprintf(string1_I, sizeof string1_I, "INSERT INTO
    Historico_de_Leituras_2020(Equipamento,Entrada,Data,Valor) VALUES
    ('2020','1','NOW()','%d')" , ADC1_n0 );

snprintf(string1_U, sizeof string1_U, "UPDATE
    Monitorizacao_de_Leituras_2020 SET Valor = '%d',Data=NOW() WHERE
    Entrada = 1",ADC1_n0);

// Envio de queries
mysql_query(mysql_1,string1_I);
mysql_query(mysql_1,string1_U);

```

Alimentação

A alimentação do sistema de aquisição de dados é feita numa placa terminal que fica acoplada no topo da pilha de *shields*. É usado um conversor Hi-link, com uma tensão de alimentação entre 100 e 240 Volts AC, gerando um *output* de 5 Volts DC. Tendo o Raspberry Pi 3 a sua própria fonte de alimentação, esta placa irá alimentar os constituintes das *shields* de aquisição de sinal analógico, servindo também como sinal de referência para comparação com os valores recebidos para o caso do MCP3008 e geração de sinal no caso do IL300.

Tendo em conta a importância destes fatores no desempenho final do equipamento, é essencial que este sinal seja o mais estável possível. Com o objetivo de atribuir essa estabilidade ao sinal foram feitos testes laboratoriais com o objetivo final de reduzir o "ruído" no output do conversor, aproximando-o ao valor ideal de 5 volts.

Desta forma foram adicionados dois condensadores à saída do conversor, um eletrolítico de 100 uF e um de poliéster de 0.022K (C1 e C2 na placa da figura 5.20, respectivamente), registrando-se assim um sinal mais estável derivado da redução de ruído.

A passagem da alimentação para os níveis inferiores é feita por dois pinos situados no canto inferior direito da placa, como se pode verificar na figura 5.20, que irão acoplar nas placas de aquisição de sinal analógico.



Figura 5.18: Placa de alimentação desenvolvida para o protótipo Raspberry Pi 3 / MCP3008

Protótipo final

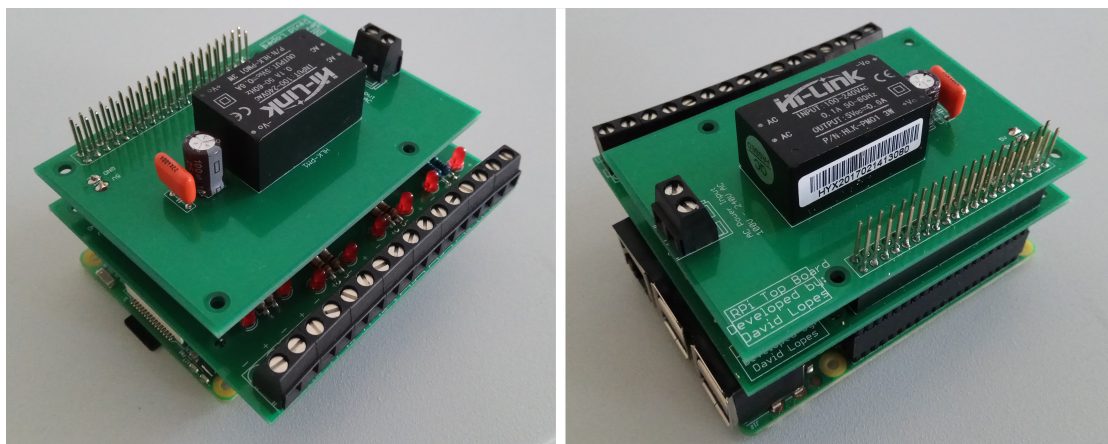


Figura 5.19: Protótipo Raspberry Pi 3 / MCP3008 completo

Fluxograma do protótipo

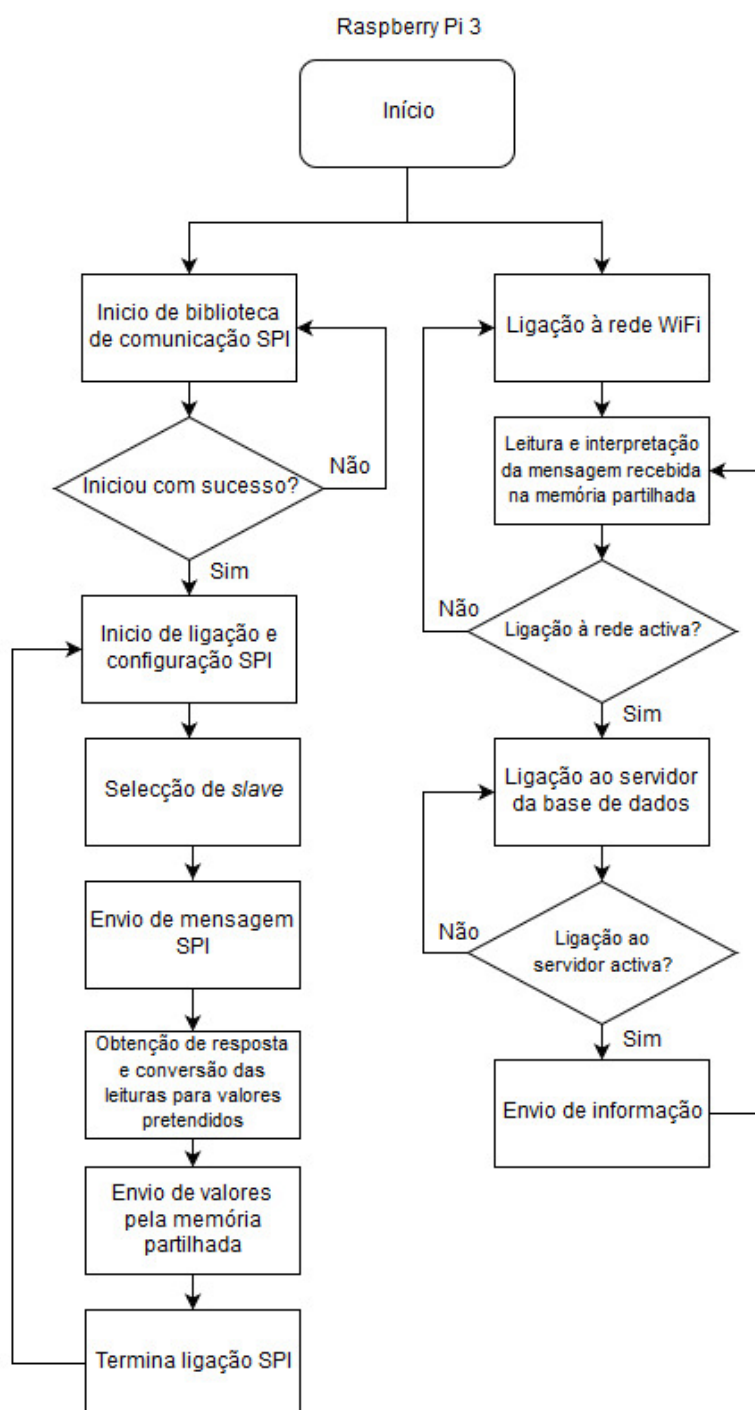


Figura 5.20: Fluxograma do protótipo Raspberry Pi 3 / MCP3008

5.3.4 Protótipo de leitura analógica Siemens S7-1200 / Raspberry Pi 3

Os PLC's, criados para substituir os circuitos lógicos implementados a relés, foram-se estabelecendo ao longo dos anos como os dispositivos mais usados na área da automação industrial, especialmente no sector automóvel. Desta forma, foram desenvolvidos com especial foco na robustez e fiabilidade pretendidas nos ambientes industriais mais adversos. De modo a transportar estas características para a filosofia da Indústria 4.0, foi desenvolvido um sistema que consiste numa simbiose entre um Siemens S7-1200 e uma das plataformas com maior potencial dentro do *IoT*, o Raspberry Pi 3, trazendo assim uma vertente Wi-Fi bastante versátil para um sistema clássico.

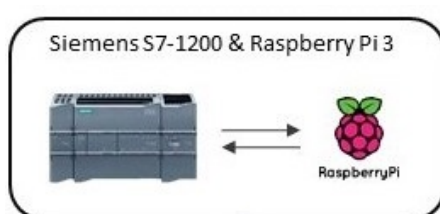


Figura 5.21: Protótipo Siemens S7-1200 com Raspberry Pi 3

Leitura analógica

A leitura analógica é efetuada pelo PLC, tendo a escolha recaído sobre o Siemens S7-1200 devido ao seu vasto potencial e flexibilidade inerente ao seu sistema modular, havendo um vasto leque de cartas de expansão que podem ser utilizadas, adaptando assim o hardware às necessidades de cada uma das aplicações. Para esta aplicação foram usadas duas cartas de expansão analógica em corrente (figura 5.22), com 8 entradas cada uma, ficando apenas 12 dessas entradas ocupadas, podendo dar lugar a uma futura expansão de parâmetros a monitorizar.



Figura 5.22: PLC Siemens S7-1200 com ligação a 12 sensores analógicos

Para a programação do PLC da Siemens foi usado o software TIA Portal, que traz um enorme conjunto de benefícios em relação aos softwares usados até agora por outras

marcas. Para facilitar a programação de várias entradas analógicas, foi criada uma *Function Block* (ilustrada na figura 5.23), onde inicialmente o valor analógico adquirido é normalizado através da função *NORM_X* para uma escala a variar entre 0 e 27648 e guardado numa *tag* para de seguida ser ajustado a uma qualquer escala pretendida pelo programador através da função *SCALE_X*. Na continuação da função, na parte inferior da imagem, este valor é depois convertido para *string* de modo a ser guardado num *Data Block* através da função *S_CONV*.

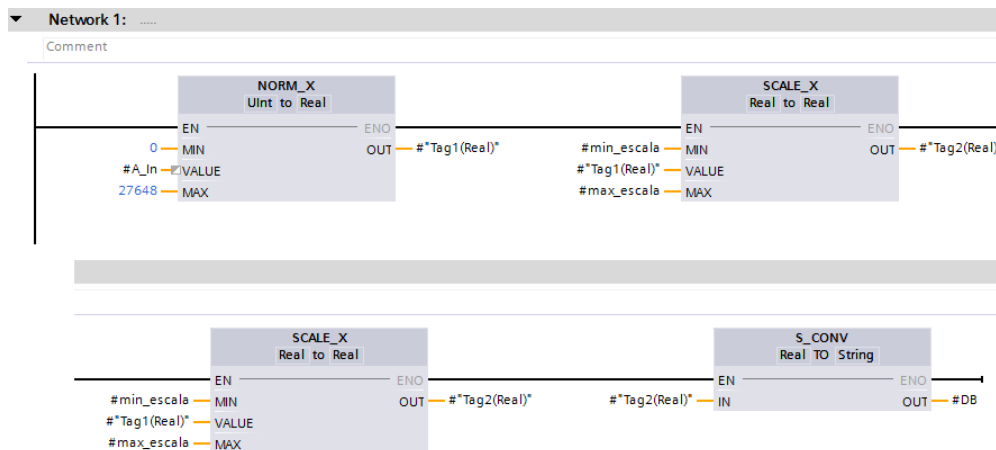


Figura 5.23: *Network* com *Funtion Block* desenvolvida para o tratamento de sinal analógico recebido no PLC

Assim, como se pode constatar na figura 5.24 a configuração de cada entrada analógica é feita usando exclusivamente a função criada anteriormente, sendo apenas necessário da parte do programador indicar qual a entrada analógica, os limites da escala que pretende, as *Tags* que pretende usar para os efeitos de conversão intermédia na função e a DB e respetiva posição para onde pretende envia o valor lido. É assim possível fazer uma configuração de leitura das entradas analógicas de uma forma rápida e eficiente, reduzindo possíveis erros na programação.

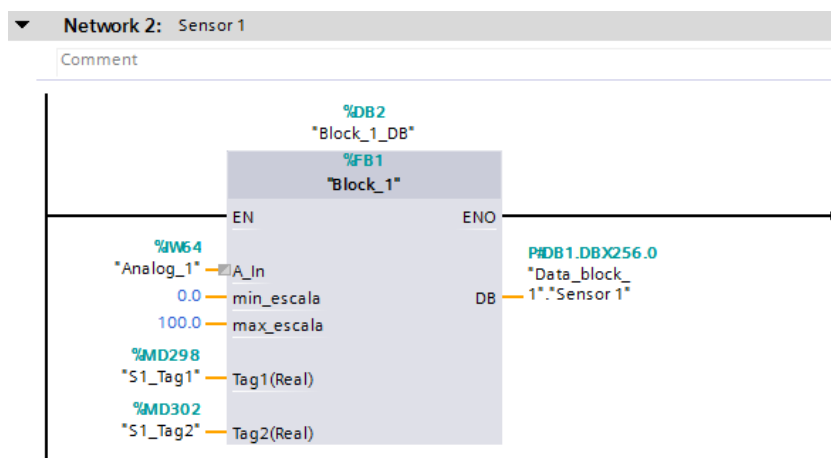


Figura 5.24: *Network* com aplicação de FB de leitura analógica

Estrutura de *Data Blocks*

Foi definida uma estrutura base para a *Data Block* (DB) onde serão armazenadas as leituras efetuadas, com o objetivo de tornar o sistema o mais configurável possível através da programação do PLC. A DB é constituída apenas por dados no formato de *strings*, sendo que na primeira posição irá existir uma string estática com a referencia da máquina onde o sistema está implementado e nas restantes os valores adquiridos dos sensores. Nas secções seguintes esta estrutura irá ser novamente abordada, revelando o total panorama de interações que daí irão resultar.

Comunicação e troca de dados entre PLC e Raspberry Pi3

A comunicação entre o PLC da Siemens e o Raspberry Pi 3 é efetuada via *ethernet* através do protocolo S7. De modo a que agentes externos ao PLC possam comunicar e ter acesso aos dados dos seus DB's, é necessário efetuar algumas configurações no autómato. Um dos pontos a configurar é o endereço IP. Esta opção encontra-se no separador *Profinet interface[X1]>General* referente ao PLC no software TIA Portal, tendo sido usado para o presente caso o IP padrão: "192.168.0.1".

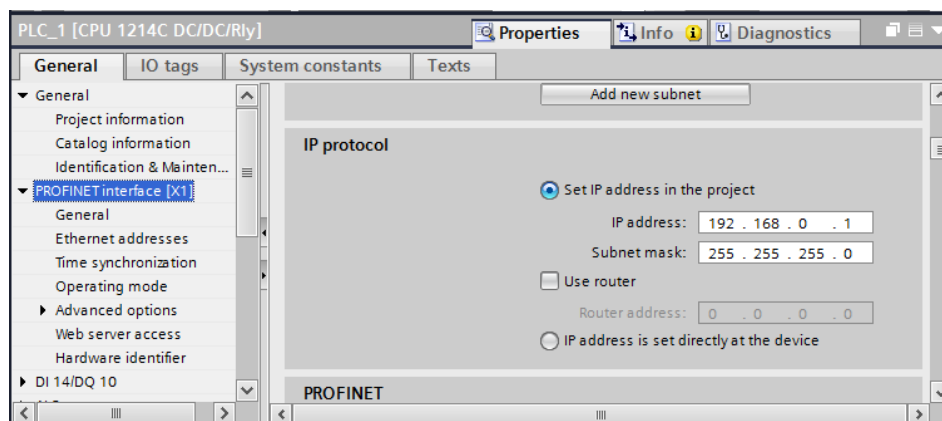


Figura 5.25: Configuração do IP do autómato

A configuração fica concluída com a remoção da proteção de acessos externos e a permissão de acesso de dispositivos remotos. Estas ações podem ser efetuadas no separador *Protection*, referente à configuração do PLC. É desta forma necessário remover todas as proteções existentes, deixando um acesso completamente aberto para a leitura e escrita de dados.

Com as alterações efetuadas torna-se possível efetuar a ligação e comunicação entre as duas plataformas. De modo a tornar esta etapa mais simples foi usada a biblioteca de funções SNAP7 para a linguagem de programação "C". Tal como já foi abordado na secção 3.4.4 esta biblioteca fornece um conjunto de funções que permitem a comunicação, leitura e escrita de dados e envio de ordens para diversos tipos de autómatos, sendo o modelo usado neste protótipo um dos mais versáteis neste tipo de aplicações. Para iniciar uma ligação a um PLC é necessário criar previamente um cliente de ligação através da função *Cli_Create()* e só depois efetuar a ligação através da função *Cli_ConnectTo("Client", "IP", "Rack", "Slot")*, onde é necessário incluir como argumen-

tos o cliente criado, o IP do PLC, o *rack* e *slot* (configurados anteriormente no TIA Portal).

Código Fonte 5.7: Função genérica de ligação a um autómato usando a biblioteca snap7.h

```
int Connect_PLC()
{
    Client = Cli_Create(); // Criação de um novo cliente
    aux=Cli_ConnectTo(Client,"192.168.0.1",0,0);
    if(aux == 0)
    {
        return 1; // Ligação com PLC efectuada
    }
    else
    {
        Cli_Destroy(&Client); // Destrói o Cliente
        return 0; // Comunicação com PLC nao estabelecida
    }
}
```

Para efetuar a aquisição de um dos valores presentes nas DB's do autómato, pode ser utilizada a função *Cli_DBRead()*. Os argumentos de entrada da função ditam o valor a ser lido, sendo necessário fornecer o cliente da ligação, o numero da DB, a posição de memória em que se inicia a leitura, o tamanho da variável a ler e a string onde guardar o valor lido. Desta forma, tendo por base o exemplo seguinte, iremos efetuar uma leitura na DB 1, com inicio na posição 256, com um tamanho de 256 *bits*, guardando os dados lidos na *string* fornecida. Analisando a estrutura da DB1 apresentada anteriormente, podemos facilmente deduzir que com estes argumentos de função, irá ser feita a aquisição dos dados relativos ao sensor 1 da tabela.

Código Fonte 5.8: Função de aquisição de dados de uma dada DB

```
|| Cli_DBRead(Client,1,256,256,&String);
```

Data_block_1								
	Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f...	Visible in ...	Set...
1	Static				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Equipamento	String	0.0	"	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Sensor 1	String	256.0	"	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Sensor 2	String	512.0	"	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Sensor 3	String	768.0	"	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 5.26: Parâmetro lido através da função *Cli_DBRead()*

Conecção e envio de dados para a base de dados

Para este protótipo a etapa de ligação à base de dados é feita pelo mesmo processo utilizado na solução que aliava o Raspberry Pi à ADC MCP3008 (secção 5.3.3). O mesmo se verifica para as mensagens enviadas para a base de dados, tendo a mesma estrutura para os dois casos.

Fluxograma

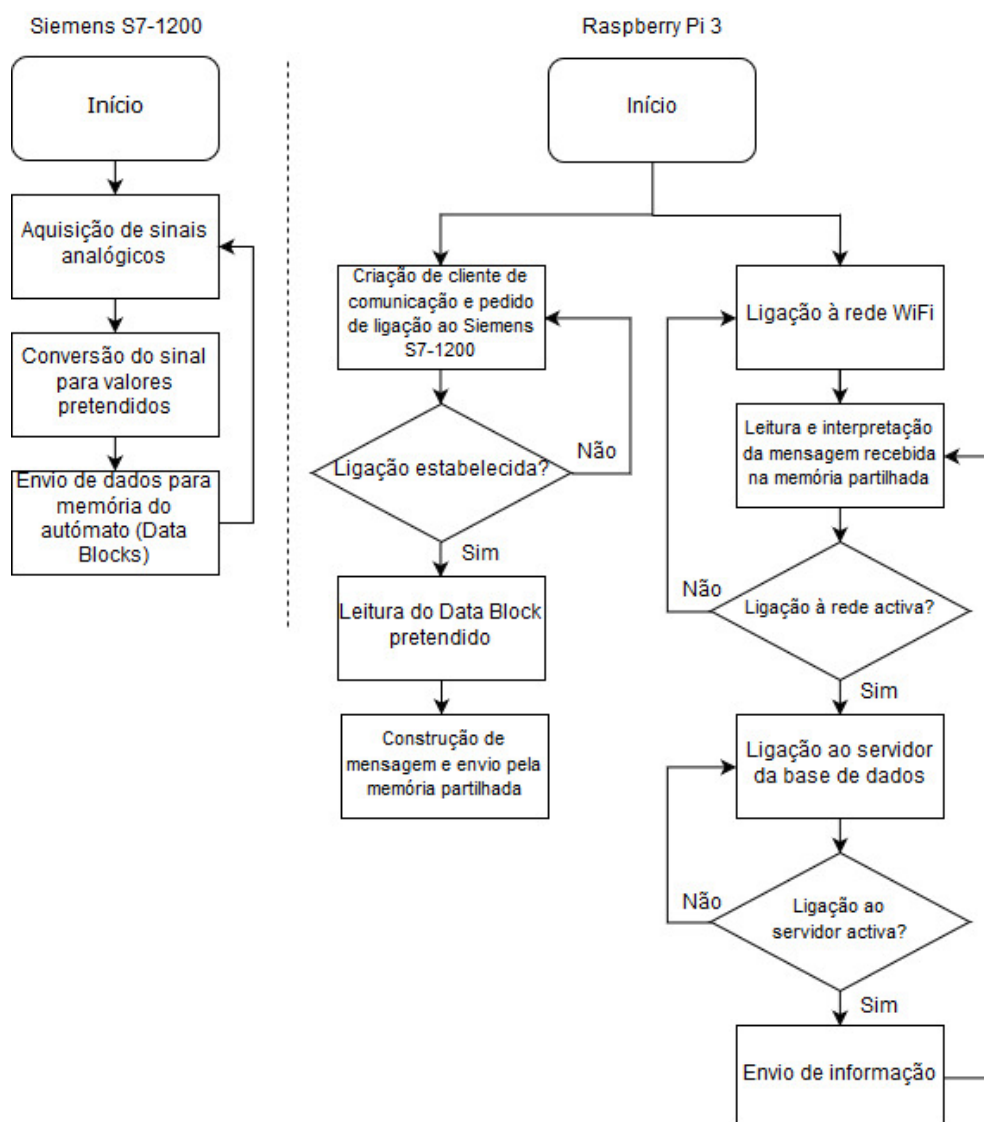


Figura 5.27: Fluxograma do protótipo Siemens S7-1200 / Raspberry Pi 3

5.4 Rede Wi-Fi interna

Existem ao longo de toda a extensão das instalações fabris inúmeras aplicações instaladas em equipamentos ligados à rede interna usando ligações *Ethernet* (*TCP-IP*).

Com o objetivo de facilitar a introdução e implementação de sistemas inseridos na filosofia da Indústria 4.0, as instalações fabris foram alvo de uma intervenção que visa a implementação de cobertura da rede interna Wi-Fi em toda a área *shopfloor* da empresa, reduzindo assim a necessidade do uso de ligações por cabo para transferência de dados.

Foram impostos pelo grupo Renault os seguintes requisitos para a rede[70]:

- Protocolo 802.11 com padrão g, n ou ac;

- encriptação WPA2 - Enterprise com AES;
- autenticação PEAP com MS CHAPv2.

No presente caso, o padrão usado é o 802.11n, estando o acesso limitado pelo uso de *login's* para cada equipamento na rede. A gestão dos endereços IP's e respetivos utilizadores é feita internamente pela equipa de engenharia informática da Renault CACIA, evitando assim possíveis acessos não autorizados à rede interna. Assim, foi necessário a criação e fornecimento de endereços IP com respetivos utilizadores e palavras chaves por parte da empresa de modo a que as soluções desenvolvidas fossem implementadas e testadas em ambiente industrial.

5.5 Servidor web e base de dados

Os servidores de base de dados e web, embora pertencentes ao projeto abordado nesta dissertação, foram desenvolvidos de uma forma externa à mesma. Tendo em conta os objetivos estabelecidos anteriormente, foi usado o *software opensource "XAMPP"* no período de testes no terreno. A escolha é justificada pelo facto deste *software* ser uma distribuição do servidor HTTP Apache[71] que também possui servidor de base de dados MySQL, e interpretador PHP integrados, sendo assim a solução ideal para o desenvolvimento na fase embrionária do projeto. Devido ao facto de ser versátil e pouco exigente a nível de processamento pode ser instalada em qualquer computador portátil de gama média/baixa, resultando numa solução que em teoria cumpre os requisitos dos testes a efetuar.

A base de dados é gerada com num servidor MySQL com as comunicações a serem efetuadas através da porta 3306, onde as mensagens SQL são recebidas e interpretadas pelo gestor da base de dados de modo a serem executadas de seguida. Sendo a organização e armazenamento de dados feita através de tabelas, existe um conjunto de tabelas pré-definidas com diferentes propósitos. Por cada equipamento ligado ao sistema existem duas tabelas de armazenamento de dados, uma das quais irá guardar os dados recebidos ao longo do tempo, servindo para obtenção do histórico de leituras, a segunda terá como objetivo a obtenção da última leitura registada para cada parâmetro. Nestes dois tipos de tabela, para além da leitura obtida, é também armazenada a hora a que foi efetuada, a entrada referente ao sensor e o estado do equipamento. Noutras tabelas irão ser armazenadas diferentes informações, tais como sensores e respetivas características, intervalos admissíveis de funcionamento, endereços IP dos equipamentos, entre outras.

O servidor *web* é composto pelo servidor HTTP Apache e um interpretador PHP. O servidor Apache é responsável pela gestão de paginas web, ligações externas de utilizadores e gestão de pedidos e respetiva resposta com o interpretador PHP, fazendo assim a ponte de ligação entre a interface e a base de dados.

5.6 Interface de monitorização

A interface implementada foi desenvolvida em linguagens web (HTML,PHP, Javascript,css e AJAX), sendo o acesso feito via *browser*. Desta forma é feita uma uniformização dos acessos, podendo ser usado qualquer tipo de equipamento que suporte a utilização de *web*

browsers. É assim contornada a necessidade de instalação de qualquer tipo de aplicação externa, como é comum neste tipo de sistemas.

O acesso à aplicação é controlado através de uma pagina inicial de *login*. A representação e consulta das informações recolhidas dos equipamentos da instalação fabril é estruturada de um modo hierárquico num separador lateral, havendo separação por pavilhão, linha, equipamento, parâmetro monitorizado e sensores, dando uma visão abrangente e intuitiva de todas as ramificações do sistema no chão de fábrica.

A adição, alteração e remoção de qualquer um destes parâmetros é feita diretamente na interface, dando total controlo da gestão e expansão de equipamentos ao administrador do sistema. Assim, é possível fazer qualquer tipo de alteração em tempo real na configuração do sistema, o que se torna especialmente relevante no caso dos limites pré estabelecidos para cada uma das leituras.

A representação dos dados retirados é feita em paginas dedicadas a cada equipamento. Para além da ultima leitura recebida, é também possível consultar uma pagina com o histórico de leituras num intervalo temporal pretendido e a sua representação gráfica. Existe também uma secção dedicada a alarmes, sendo usados indicadores visuais para alertar para possíveis irregulares no equipamento. Devido ao grau de importância desta característica para a deteção de avarias e consequente manutenção preditiva, estão disponíveis paginas dedicadas exclusivamente á visualização de alarmes para linhas, ou até mesmo para toda a instalação fabril.

É desta forma possível fazer a consulta de qualquer parâmetro de um equipamento, ou receção de alarmes em qualquer local das instalações fabris por parte da equipa responsável pela manutenção do equipamento, recorrendo apenas a um *smartphone* ou *tablet*. Fica assim possível fazer deteções de avarias e posterior agendamento de intervenções num curto intervalo de tempo.

Salienta-se mais uma vez que tal como os servidores, também a interface usada na implementação deste projeto foi desenvolvida de forma externa à presente dissertação.



Figura 5.28: Interface usada no desenvolvimento do projeto

5.7 Implementação no centro de maquinação

Através dos testes efetuados em laboratório e por deliberação por parte dos elementos ligados ao projeto, o protótipo escolhido para a implementação no centro de maquinagem foi o Siemens S7-1200 / Raspberry Pi 3.

A instalação foi feita no interior do quadro elétrico do equipamento, tendo sido aplicado em calhas DIN para o acoplamento do autómato e do Raspberry Pi 3. Desta forma, os ensaios realizados serviram para testar a solução desenvolvida no ambiente em que se pretende que esta opere, reunindo assim todas as condições para ser feita uma análise e posteriores conclusões o mais próxima da aplicação real possível.



Figura 5.29: Sistema de monitorização em funcionamento nas instalações da Renault CACIA

Capítulo 6

Análise de desempenho

O presente capítulo serve de análise ao desempenho não só dos sensores usados na recolha de dados e respetivas soluções de aquisição de dados propostas, mas também a todas as restantes vertentes envolvidas na execução deste projeto que foram desenvolvidas de forma externa a esta dissertação, tais como a rede Wifi, servidor de base de dados, servidor web e interface usadas. Considera-se oportuno fazer uma análise separada de cada um tópicos envolvidos nesta dissertação, assim como os externos, uma vez que estas vertentes desempenham um papel igualmente importante no panorama global do projeto, complementando e influenciando o trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação. Serão abordados e comparados os resultados laboratoriais com os obtidos na implementação no equipamento Grob. Os testes laboratoriais foram realizados com a utilização de um sensor de temperatura IFM TR2432[72], alimentado através da saída de 24V DC do PLC Siemens s7-1200 também usado nos testes, uma rede WPA2-Personal AES e uma distribuição do software XAMPP para gerar os servidores necessários. As condições e componentes usados na implementação foram sendo abordados ao longo do Capítulo 5.



Figura 6.1: Bancada usada nos testes laboratoriais

6.1 Testes laboratoriais

6.1.1 Protótipo de leitura analógica Arduino Nano - ESP8266

A primeira solução desenvolvida teve como base um Arduino Nano a recolher dados através de 8 entradas analógicas, fazendo o envio de informação para um ESP8266 através de porta série, para posteriormente os dados recolhidos serem enviados para o servidor de base de dados. No desenvolvimento em laboratório, este protótipo mostrou ser eficiente na velocidade de recolha e envio de dados, fazendo uma média de três leituras por segundo, embora apresente algum ruído e limites significativos na resolução das leituras, quando comparado com soluções mais robustas. Para além desta condicionante, também se regista um erro de leitura considerável à saída do circuito de opto-isolamento, resultando num desfasamento da medida obtida com a real. Como se pode observar na figura 6.2, esta diferença é significativa, uma vez que para uma temperatura real de 25.1°C se regista uma leitura de 27°C. Esta diferença de valores torna-se particularmente inesperada, uma vez que os dados registados durante a calibração do circuito de opto-isolamento (secção 5.3.1) apontavam para uma linearidade bastante satisfatória para intervalos entre os 7 e os 20mA. Na origem desta diferença poderá estar o facto de não ter sido usado o sub circuito de servo alimentação à entrada do IL300, que atuaria como um regulador, calibrando o sinal à saída do circuito de opto-isolamento.

No entanto, o principal problema a ser detetado prende-se com o facto de que o micro controlador ESP8266 não conseguir cumprir os requisitos de rede impostos, pois não possui a capacidade de se ligar a redes com encriptação WPA2- Enterprise, ficando assim afastado de qualquer implementação no equipamento.

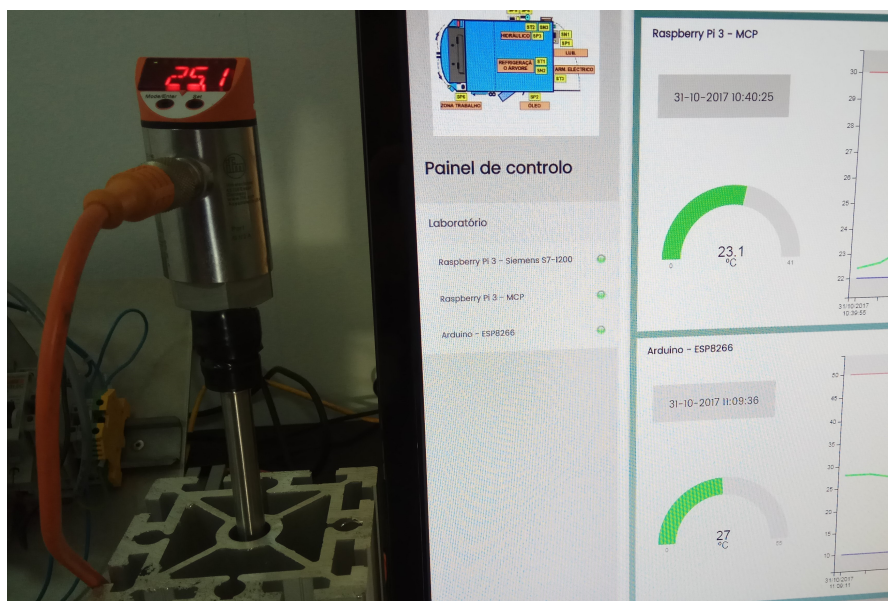


Figura 6.2: Teste laboratorial do protótipo Arduino Nano - ESP8266 desenvolvido

6.1.2 Protótipo de leitura analógica Raspberry Pi 3 - MCP3008

O protótipo Raspberry Pi 3 com a ADC MCP3008 registou uma maior taxa de aquisição de dados e menor ruído no sinal registado nas leituras em relação à primeira solução apresentada, fornecendo leituras mais constantes. No entanto, o erro nas leituras registado anteriormente também se manteve neste protótipo, uma vez que o circuito de opto-isolamento foi reaproveitado. A comunicação SPI entre o Raspberry Pi 3 e a ADC MCP3008 é feita com a velocidade e robustez exigida através da biblioteca "bcm2835", assim como o envio dos dados recolhidos entre os processos executados pelo RPi3. A ligação ao servidor da base de dados MySQL também foi feita sem grandes dificuldades. No entanto, em casos de falha de rede, a ligação nem sempre era re-estabelecida.

Apesar disto, o erro de leitura registado acabou por ser o mais significativo a ocorrer nos testes realizados, uma vez que implica uma nova reformulação da estrutura do circuito integrante, sendo todos os restantes problemas contornados através do desenvolvimento do código de execução do programa. Em suma, esta solução mostrou um grande potencial de aplicabilidade, no entanto ainda não se encontra numa fase de desenvolvimento em que seja viável a sua aplicação.

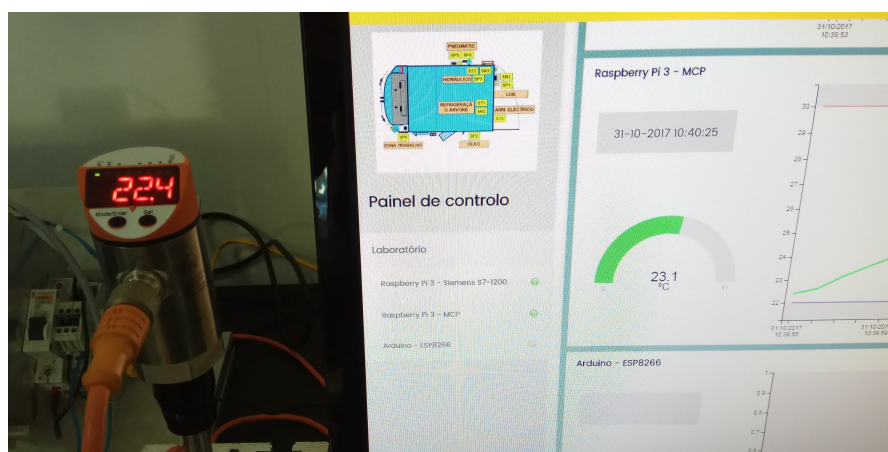


Figura 6.3: Teste laboratorial do protótipo Raspberry Pi 3 - MCP3008 desenvolvido

6.1.3 Protótipo de leitura analógica Siemens S7-1200 - Raspberry Pi 3

Nesta solução, a recolha e conversão de sinal analógico para os valores pretendidos foi feita sem qualquer dificuldade, aliando a melhor taxa de leitura registada à melhor precisão de todas as soluções, tendo sido registados valores iguais no *display* do sensor e na DB respectiva do autómato, tal como se verifica na figura 6.4.

A comunicação entre o Raspberry Pi 3 e o PLC da Siemens foi feita sem qualquer problema registado e com uma velocidade de leitura bastante alta, deixando portanto boas indicações em relação à eficácia da biblioteca "SNAP7".

O envio dos mesmos para a base de dados MySQL foi, tal como o protótipo Raspberry Pi 3 / MCP3008 feita de um modo satisfatório, havendo no entanto algumas questões a resolver no re-estabelecimento da ligação ao servidor em caso de falha da rede. No conjunto dos testes laboratoriais realizados, os melhores resultados foram obtidos para

este protótipo, tendo-se destacado entre os 3 devido ao seu desempenho na aquisição de dados.

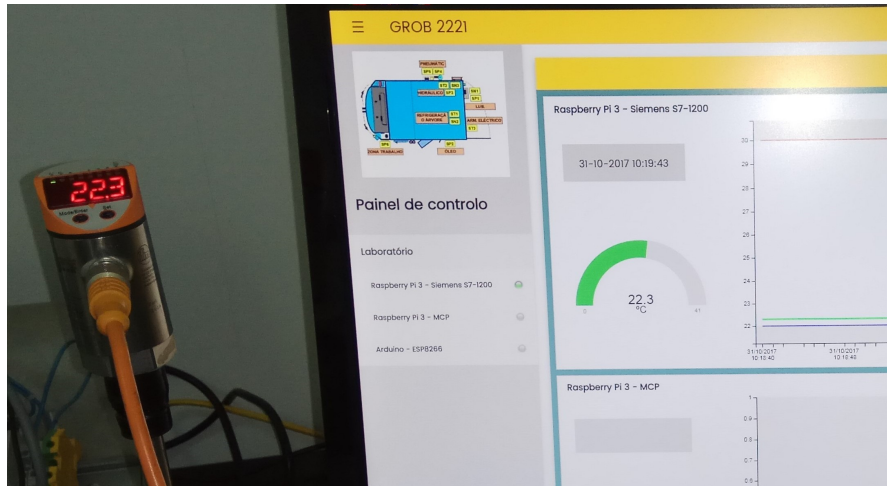


Figura 6.4: Teste laboratorial do protótipo Siemens S7-1200 - Raspberry Pi 3 desenvolvido

6.2 Implementação

6.2.1 Sensores

Os diferentes sensores usados na implementação, tal como seria de esperar, mostraram ser extremamente robustos e eficientes para a aplicação em causa, fornecendo uma grande precisão nas leituras efetuadas e originando um sinal analógico de saída com um comportamento completamente linear.

6.2.2 Siemens S7-1200 - Raspberry Pi 3

No decorrer da implementação, a escolha recaiu sobre o protótipo Siemens S7-1200 / Raspberry Pi 3 em detrimento do protótipo Raspberry Pi 3 / MCP3008, derivado do facto de este último ainda não garantir a precisão de leitura pretendida para esta aplicação, ao contrário do protótipo com base no PLC da Siemens, com provas dadas da sua viabilidade em aplicações desta natureza. Assim, foram feitos no terreno um conjunto de testes que serviram de base para a correção de alguns "bugs" no código base de recolha e envio de dados, quer do autómato, quer do RPi3, sendo feita uma evolução gradual na robustez e versatilidade da solução na etapa de recolha e interpretação de dados. De uma forma geral, o desempenho do Siemens S7-1200 foi irrepreensível, não tendo surgido qualquer tipo de problema com o mesmo, confirmando assim o estatuto deste tipo de sistemas como exemplar para as mais variadas aplicações dentro de sistemas industriais.

No que toca à recolha, interpretação e envio de dados para o servidor da base de dados através do Raspberry Pi 3, surgiram alguns problemas relacionados com a fraca receção de sinal no interior do quadro elétrico do equipamento, devido ao facto de este atuar como uma caixa isoladora do sistema e ao ruído eletromagnético gerado pelos restantes componentes presentes no quadro. A este problema acrescia o facto de em alguns casos

de falha de rede, a plataforma RPi3 não voltar a estabelecer a ligação à mesma rede automaticamente. No entanto, o problema relacionado com a fraca receção de sinal foi resolvido colocando o dispositivo no exterior do quadro elétrico. Obviamente, esta ação não constitui uma solução viável para o problema encontrado, mas no entanto serve como indicador de que a aquisição do sinal Wi-Fi deve ser realizado por um periférico colocado no exterior do equipamento e com ligação ao sistema.

6.2.3 Rede Wi-Fi interna

Tal como foi abordado na secção 5.4, as instalações fabris da Renault CACIA foram recentemente alvo de uma intervenção que as capacitou de cobertura de rede interna Wi-Fi na totalidade da área coberta da fábrica. Apesar de existir uma fraca receção de sinal no interior do quadro, tal como foi dito na secção anterior, a causa deve-se a fatores alheios à rede interna, sendo o seu desempenho e difusão de sinal bastante satisfatórios na zona da implementação, mesmo estando a aproximadamente 25 metros do repetidor mais próximo. Sendo a comunicação através de Wi-Fi uma das bases dos novos sistemas inseridos na filosofia da Indústria 4.0, a expansão da rede realizada a nível do *shopfloor* constitui um passo fulcral para a proliferação deste tipo de sistemas nas instalações da Renault CACIA.

6.2.4 Servidor de base de dados MySQL, web e interface

Tal como já foi referido anteriormente, os servidores de base de dados, web e interface foram desenvolvidos de forma externa a este relatório de projecto. No entanto, tal como se considerou pertinente abordar a sua implementação, também será pertinente fazer uma breve análise ao seu desempenho, visto estar integrada no projeto global.

A implementação e utilização do servidor de base de dados MySQL no decorrer do projeto foi feita sem problemas, tendo a estrutura desenvolvida para as tabelas cumprido os requisitos estabelecidos inicialmente. Relativamente ao servidor web Apache, torna-se pertinente fazer a análise de dois parâmetros, o interpretador PHP e o servidor Web em si. Verificou-se durante os testes do protótipo Arduino Nano - ESP8266 que o registo dos valores lidos na base de dados através de um ficheiro PHP foi cumprida com sucesso, tendo o interpretador PHP mostrado um bom desempenho.

Quanto ao servidor web, registou-se durante os testes realizados nas instalações da Renault CACIA um desempenho muito satisfatório na velocidade e eficiência de transferência das paginas web para os equipamentos de visualização, podendo apenas ser condicionada por uma eventual fraca intensidade de sinal recebido pelos mesmos.

A interface gráfica demonstrou um grande potencial de aplicabilidade no futuro, tendo cumprido os testes realizados sem qualquer tipo de anomalia a registar. Os testes foram realizados em diferentes dispositivos, variando de computadores portáteis a telemóveis, tendo-se registado apenas a necessidade de melhorar a compatibilidade de certos aspetos a diferentes *browsers* (os testes foram realizados em *Google Chrome*). A estrutura da interface gráfica desenvolvida enquadrava-se com os requisitos e exigências pré-estabelecidos por parte dos responsáveis da Renault CACIA, havendo um bom *feedback* no que toca à facilidade de utilização e interpretação da mesma.

Capítulo 7

Considerações finais e trabalhos futuros

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais do projeto de dissertação e é delineado um conjunto de trabalhos futuros que visam acrescentar aos sistemas particularidades consideradas essenciais para a obtenção de um produto com a funcionalidade e robustez final pretendida para este tipo de aplicações.

7.1 Considerações Finais

Ao longo deste documento foram elaboradas e desenvolvidas diferentes soluções que visavam efetuar a recolha e envio de dados recolhidos de um equipamento industrial, estando integradas num sistema SCADA. Este tinha como objetivo final servir de auxílio à execução e agendamento de ações de manutenção por parte das diferentes equipas técnicas da Renault CACIA ligadas a essa função.

A primeira solução proposta, abordada na secção 5.3.2, tal como referido na análise de desempenho, mostrou não ser capaz de cumprir os requisitos de rede estabelecidos para o projeto por parte da entidade empresarial, não tendo sido comprovada a sua aplicabilidade a nível industrial. No entanto, com base no enorme potencial apresentado pela solução aliado a um baixo custo, considera-se que existe um grande potencial de aplicabilidade na área da domótica, onde as exigências a nível de precisão de leitura, modos de acionamento e rede usada não são tão rigorosas como em sistemas industriais. Esta solução, durante o seu desenvolvimento, visava contornar a limitação do microcontrolador ESP8266 a uma entrada analógica, usando as 8 entradas do Arduino Nano. No entanto, actualmente este protótipo tornou-se obsoleto uma vez que foi lançado o ESP32, que possui um total de 12 entradas analógicas, estando no entanto apenas 6 delas disponíveis quando o Wi-Fi é usado.

O protótipo Raspberry Pi 3 - MCP3008, ao contrário do anterior, mostrou ser capaz de cumprir todos os requisitos impostos pela rede interna, partilhando no entanto o problema de falta de precisão nas leituras efetuadas, tornando-o nesta fase inviável a nível industrial. Ainda assim, tendo em conta as características desta solução, considera-se que a mesma poderá ser desenvolvida ao ponto de ser usada não só na área da domótica, mas também em aplicações industriais, necessitando no entanto de melhorias significativas no circuito de aquisição de dados e na proteção do sistema contra eventuais problemas de

sobrecargas elétricas.

Por ultimo, o protótipo PLC Siemens S7-1200 - Raspberry Pi 3, implementado e testado nas instalações da Renault CACIA, apesar de apresentar alguns problemas relacionados com o reestabelecimento de ligação à rede Wi-Fi, deu boas indicações no que diz respeito à sua aplicabilidade em ambientes industriais. Embora cada um testes efetuados não tenha excedido um total de 48 horas de funcionamento contínuo, a recolha de dados era feita de uma forma precisa, rápida e robusta, sendo complementada de igual forma por um envio eficiente para o servidor da base de dados, permitindo uma troca e posterior visualização de dados em tempo real na interface de apoio às equipas de manutenção.

Como é lógico, estas considerações têm de ter também em conta o factor económico inerente aos protótipos, onde se regista uma clara diferença entre as três soluções. A solução com base nas plataformas Arduino Nano / ESP8266, sendo a mais barata das três, torna aceitáveis as limitações encontradas no sistema, que embora não viabilizado para a aplicação, poderá ser para outras, tal como foi referido. A solução com base no Siemens S7-1200 / Raspberry Pi 3 revelou, tal como esperado, ser a mais robusta e precisa das três. No entanto é também a mais dispendiosa, devido ao facto de ter uma base criada há décadas atrás e que sofrido um constante desenvolvimento, possuindo a fiabilidade e versatilidade exigidas para aplicações industriais. O protótipo Raspberry Pi3 / MCP3008 é dos três o mais interessante do ponto de vista da relação potencial/preço, uma vez que apresenta uma versatilidade incomparável a qualquer solução estudada dentro da mesma gama de preços. No entanto é essencial investir no desenvolvimento e melhoramento da mesma, de modo a ser viabilizada para aplicações industriais.

A nível de servidores de base de dados, web e interface gráfica, também foram atingidos todos os objetivos propostos, havendo especial destaque para a hierarquização dos equipamentos abrangidos pelo sistema e a liberdade de adição ou remoção dos mesmos, a geração de gráficos com o histórico de leituras para cada parâmetro do equipamento e a geração de alarmes instantâneos para valores que ultrapassem os limites estabelecidos na aplicação.

Considera-se pertinente nesta fase salientar que o projecto global no qual a presente dissertação se inseriu foi apresentado por diversas ocasiões a diversas entidades dentro do grupo Renault para além das que fizeram o acompanhamento do projeto, entre as quais se destacam o diretor da fábrica Renault Cacia, Juan Melgosa, equipas de gestão europeias do grupo, o chefe do projeto de hiper competitividade no departamento de engenharia, manutenção e performance dos meios industriais no grupo Renault, Stephane Gregoire, e o vice-presidente de competitividade do Grupo Renault, Thierry Bolloré. O *feedback* positivo recolhido deste conjunto de apresentações do projeto demonstra a viabilidade do mesmo do ponto de vista de desenvolvimento e aplicabilidade futura nas instalações da Renault CACIA, comprovando que a solução foi de encontro aos requisitos estabelecidos. Outro facto a ter em conta prende-se com a viabilidade económica, onde também é atribuído um grande potencial ao projeto, visto tratar-se de uma solução com aproximadamente um quarto do custo de soluções idênticas desenvolvidas por grandes empresas como a *IFM Electronic* ou a *DMG MORI SEIKI*. Apesar deste indicador positivo, deve-se também considerar que a solução desenvolvida ainda se encontra em estado embrionário, necessitando de desenvolvimento adicional no futuro de modo a se obter uma solução com a robustez e eficiência pretendida.

Desta forma, esta implementação cumpriu todos os requisitos e objetivos estabelecidos inicialmente por parte da entidade empresarial para o projeto, havendo no entanto

uma clara margem de progressão no desenvolvimento adicional da solução. Considera-se assim que tanto o projeto desenvolvido no âmbito da presente dissertação como o projeto global, resultaram numa ferramenta de auxílio à digitalização do controlo de equipamentos especialmente eficaz para ações ligadas à manutenção, representando um grande auxílio na deteção em tempo real de falhas nos equipamentos.

7.2 Trabalhos futuros

Tendo em conta o desenvolvimento feito no decorrer do projeto, o consequente estado final dos protótipos desenvolvidos e as considerações tomadas anteriormente, são apontados como essenciais os seguintes trabalhos futuros para a viabilização dos mesmos para esta aplicação:

- Otimização dos programas executados nas plataformas de aquisição e envio de dados para o servidor de base de dados, contornando possíveis problemas durante a execução contínua;
- Otimização da versatilidade dos protótipos, dotando os mesmos de mecanismos de deteção automática de sensores acoplados e de saídas digitais para acionamento remoto nos equipamentos;
- Deteção de problemas de ligação com os sensores acoplados (fio cortado, curto circuito);
- Melhoria da linearidade na saída do circuito de opto-isolamento usado através da integração de um circuito de realimentação;
- Desenvolvimento e melhoria dos protótipos PCB desenvolvidos, a nível de robustez, proteções do sistema, dimensões, arquitectura, entre outros.
- Desenvolvimento de estrutura selada para aplicação dos protótipos em quadros elétricos;
- Implementação de antenas externas ao equipamento, visando uma melhoria da receção do sinal da rede Wi-Fi;
- Implementar solução para forçar a ligação da plataforma RPi à rede interna sempre que esta ficar inativa e armazenar as leituras feitas nos intervalos em que a ligação se perdeu;
- Viabilização das soluções Arduino Nano / ESP8266 e Raspberry Pi 3 / MCP 3008 com testes em ambiente industrial;
- Capacitação dos equipamentos de monitorização de vibrações.

Bibliografia

- [1] Almeida M. Manutenção preditiva : benefícios e lucratividade .; 2012. Available from: <http://www.mtaev.com.br/download/mnt2.pdf>.
- [2] Fairhurst G. The OSI Reference Model; 2001. Available from: <http://www.erg.abdn.ac.uk/users/gorry/course/intro-pages/osi.html>.
- [3] McCauley M. bcm2835: SPI access;. [Accessed on: 2017-11-07]. Available from: http://www.airspayce.com/mikem/bcm2835/group__spi.html.
- [4] Arduino. Arduino Nano Specs;. [Accessed on: 2017-12-06]. Available from: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>.
- [5] Microchip. MCP3004/3008 2.7V 4-Channel/8-Channel 10-Bit A/D Converters with SPI Serial Interface [Technical Datasheet]; 2008. Available from: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/MCP3008.pdf>.
- [6] Group R. Descubra a Renault; 2017. [Accessed on: 2017-10-25]. Available from: <http://www.renault.pt/descubra-a-renault/cacia/>.
- [7] S A RC. A nossa implantação. Aveiro: Renault CACIA S.A.; 2017.
- [8] Layout do edifício Componentes motores - Setembro 2016. Renault CACIA S.A.; 2016.
- [9] Moubray J. Reliability-centered Maintenance. Industrial Press Inc.; 1997. Available from: https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=bNCVF0B7vpIC&oi=fnd&pg=PR11&dq=reliability+centered+maintenance+rcm&ots=2aPlyKckcA&sig=00QCHPmnNyKStzfXZyogvJPEKIk&redir_esc=y#v=onepage&q=reliability%20centered%20maintenance%20rcm&f=false.
- [10] Brown MV. Applying the Predictive Approach; 2003. Available from: http://www.plantservices.com/assets/knowledge_centers/ansi/assets/Applying_the_Predictive_Approach.pdf.
- [11] Endi M, Elhalwagy YZ, Hashad A. Three-layer PLC/SCADA system architecture in process automation and data monitoring. In: 2010 The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering, ICCAE 2010. vol. 2; 2010. p. 774–779. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5451799>.

- [12] Agarwal T. Why is OPC server needed for industrial control systems?;. [Accessed on: 2017-11-20]. Available from: <https://www.elprocus.com/why-is-opc-server-needed-for-industrial-control-systems/>.
- [13] Geisberger E, Broy M. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Springer-Verlag; 2012.
- [14] Boggs DR, Mogul JC, Kent CA. Measured capacity of an Ethernet: myths and reality. ACM SIGCOMM Computer Communication Review. 1988;18(4):222–234. Available from: http://delivery.acm.org/10.1145/210000/205460/p123-boggs.pdf?ip=193.137.168.32&id=205460&acc=ACTIVE%20SERVICE&key=2E5699D25B4FE09E%2E861C198C983DE13B%2E4D4702B0C3E38B35%2E4D4702B0C3E38B35&CFID=1016686557&CFTOKEN=12122921&__acm__=1513293928_2b03cd2fe3b1a7cc54212a9392a56c0c.
- [15] Nardella D. Snap7 Reference manual; 2015.
- [16] Leens F. An introduction to I2C and SPI protocols. IEEE Instrumentation and Measurement Magazine. 2009;12(1):8–13. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4762946>.
- [17] Kaneria D. Serial Peripheral Interface; 2014.
- [18] Arduino. Arduino Nano (V2.3) User Manual; 2008. Available from: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>.
- [19] Volokh E. Kolban's Book on ESP8266; 2003.
- [20] Volokh E. Kolban's Book on Raspberry Pi; 2003.
- [21] Ferraz F, R T C. Data acquisition and monitoring in machine tools with CNC of open architecture using internet. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2005;26:90–97. Available from: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00170-003-1977-3.pdf>.
- [22] Frankowiak M, Grosvenor R, Prickett P. A review of the evolution of microcontroller-based machine and process monitoring. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2005 apr;45(4-5):573–582. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0890695504002019>.
- [23] Group R. Groupe Renault history since 1898 - Groupe Renault; 2017. [Accessed on: 2017-10-18]. Available from: <https://group.renault.com/en/passion-2/heritage/>.
- [24] Neto F, Oliveira J. Maquinas Termicas - aula 11: Refrigeração e lubrificação em MCI; 2014.
- [25] Debbie S. Better Fuel Efficiency Through a Better Oil Pump; 2012. [Accessed on: 2017-10-25]. Available from: <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/automotive/better-fuel-efficiency-through-a-better-oil-pump>.

- [26] Takata S, Kimura F, Houten FJaMV, Westkämper E. Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management; 2004.
- [27] Nogueira CF, Guimarães LM, Diniz M. Manutenção Industrial: Implementação da Manutenção Produtiva Total (Tpm). *Revista E-XACTA*. 2012;5(1):175–197.
- [28] Paz NM, Leigh W. Maintenance Scheduling: Issues, Results and Research Needs. *International Journal of Operations & Production Management*. 1994;14(8):47–69. Available from: <http://www.emeraldinsight.com/doi/pdfplus/10.1108/01443579410067135>.
- [29] Basri E, Hamimi Abdul Razak I, Ab-Samat H, Kamaruddin S. Preventive maintenance (PM) planning: a review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 2006;23(1):114–143.
- [30] De Faria H, Spir Costa JG, Luis J, Olivas M. A review of monitoring methods for predictive maintenance of electric power transformers based on dissolved gas analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015;46:201–209. Available from: https://ac.els-cdn.com/S1364032115001409/1-s2.0-S1364032115001409-main.pdf?_tid=d019ea38-b77f-11e7-9dcf-00000aacb360&acdnat=1508714704_940410bb8e396726b240b51716744222.
- [31] Jovanovic A. Risk-based inspection and maintenance in power and process plants in Europe. *Nuclear Engineering and Design*. 2003;226(2):165–182.
- [32] Mobley RK. *An Introduction to Predictive Maintenance (Second Edition)*; 2002. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978075067531450018X>.
- [33] Lofsten H. Management of industrial maintenance – economic evaluation of maintenance policies. *International Journal of Operations & Production Management*. 1999;19(1):716–737. Available from: <http://www.emeraldinsight.com/doi/pdfplus/10.1108/01443579910271683>.
- [34] Nikolopoulos K, Metaxiotis K, Lekatis N, Assimakopoulos V. Integrating industrial maintenance strategy into ERP. *Industrial Management & Data Systems*. 2003;103(3):184–191. Available from: <http://www.emeraldinsight.com/doi/pdfplus/10.1108/02635570310465661>.
- [35] T Luxhøj J, O Riis J, Thorsteinsson U. Trends and perspectives in industrial maintenance management. *Journal of Manufacturing Systems*. 1997;16(6):437–453. Available from: https://ac.els-cdn.com/S0278612597817013/1-s2.0-S0278612597817013-main.pdf?_tid=0751b818-e12a-11e7-a852-00000aab0f02&acdnat=1513295808_b857e3f8f031003177e24594967bc0ec.
- [36] Nai Fovino I, Carcano A, Masera M. A secure and survivable architecture for SCADA systems. In: *Proceedings - 2009 2nd International Conference on Dependability, DEPEND 2009*; 2009. p. 34–39. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5211091>.

- [37] Patel SC, Bhatt GD, Graham JH. Improving the Cyber Security of SCADA Communication Networks. Communications of the ACM. 2009;52(7):139 – 142. Available from: http://delivery.acm.org/10.1145/1540000/1538820/p139-patel.pdf?ip=193.137.168.32&id=1538820&acc=ACTIVE%20SERVICE&key=2E5699D25B4FE09E%2E861C198C983DE13B%2E4D4702B0C3E38B35%2E4D4702B0C3E38B35&CFID=1016686557&CFTOKEN=12122921&__acm__=1513294596_c5cd734a1758e96f01f7de0dfe037456.
- [38] Daneels A. WHAT IS SCADA? In: International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems; 1999. p. 1–5. Available from: <http://cds.cern.ch/record/532624/files/mc1i01.pdf>.
- [39] Quintã A. Integração de sistemas de produção; 2008.
- [40] OPC Foundation. What is OPC? - OPC Foundation;. [Accessed on: 2017-11-16]. Available from: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>.
- [41] Diaconescu E, Spirleanu C. Communication solution for industrial control applications with multi-agents using OPC servers. In: 2012 International Conference on Applied and Theoretical Electricity, ICATE 2012 - Proceedings; 2012. p. 1–6. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6403431>.
- [42] Lasi H, Kemper HG, Fettke P, Feld T, Hoffmann M. Industry 4.0; 2014.
- [43] Rüßmann M, Lorenz M, Gerbert P, Waldner M, Justus J, Engel P, et al. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries; 2015. Available from: http://www.inovasyon.org/pdf/bcg.perspectives_Industry.4.0_2015.pdf.
- [44] Alexandre M. Industrie 4.0: Framework, Challenges and Perspectives; 2014. Available from: http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/7110/1/DM_CorreiaMiguel_2014_MEM.pdf.
- [45] Hermann M, Pentek T, Otto B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review; 2015. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7427673>.
- [46] Xia F, Yang L, Wang L, Vinel, Alexey. Internet of Things. International Journal of Communication Systems. 2012;23. Available from: <https://pdfs.semanticscholar.org/930c/4981e87584afa7e6f1f4977323e365aae097.pdf>.
- [47] Terzidis O, Oberle D, Kadner K. The Internet of Services and USDL. Handbook of Service Description: USDL and Its Methods. 2012;p. 1–16.
- [48] Jazdi N. Cyber physical systems in the context of Industry 4.0; 2014. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6857843>.
- [49] Shrouf F, Ordieres J, Miragliotta G. Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm; 2014. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7058728>.

- [50] Briscoe N. Understanding the OSI 7-layer model. PC Network Advisor. 2000;120(120):13–15. Available from: https://os3.nl/_media/2014-2015/info/5_osi_model.pdf%0Ahttp://enhanceedu.iiit.ac.in/ttp/images/5/5c/0si.pdf.
- [51] Zimmermann H. OSI Reference Model–The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection. IEEE Transactions on Communications. 1980;28(4):425 – 432.
- [52] Bauer B, Patrick AS. A Human Factors Extension to the Seven-Layer OSI Reference Model; 2004. [Accessed on: 2017-11-21]. Available from: <https://www.andrewpatrick.ca/OSI/10layer.html>.
- [53] Park J, Yoon Y. An extended TCP/IP protocol for real-time local area networks. Control Engineering Practice. 1998;6(1):111–118.
- [54] Britt DT, Matthews C. TCP/IP Tutorial and Technical Overview. vol. 1; 2006. Available from: https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=TgwWAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=TCP/IP+Tutorial+and+Technical+Overview&ots=siHoN12UEn&sig=PSsi9oj_00nzv5-ghdRUYTvMVJw&redir_esc=y#v=onepage&q=TCP%2FIP%20Tutorial%20and%20Technical%20Overview&f=false.
- [55] Fall KR, Stevens WR. TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols; 2011. Available from: https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=a230An5i8R0C&oi=fnd&pg=PR9&dq=TCP/IP+Illustrated,+Volume+1:+The+Protocols&ots=R8drvWuj77&sig=yFMz_BcI_g71LFGqLKo5tP9Sis4&redir_esc=y#v=onepage&q=TCP%2FIP%20Illustrated%2C%20Volume%201%3A%20The%20Protocols&f=false.
- [56] Kleinmann A, Wool A. Accurate Modeling of the Siemens S7 Scada Protocol for Intrusion Detection and Digital Forensics. The Journal of Digital Forensics, Security and Law. 2014;9(2):37–50. Available from: <http://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1169&context=jdfsl>.
- [57] COTP - The Wireshark Wiki;. [Accessed on: 2017-10-18]. Available from: <https://wiki.wireshark.org/COTP>.
- [58] TPKT - The Wireshark Wiki;. [Accessed on: 2017-10-18]. Available from: <https://wiki.wireshark.org/TPKT>.
- [59] Oudjida AK, Berrandjia ML, Tiar R, Liacha A, Tahraoui K. FPGA implementation of i2C & SPI protocols: A comparative study. 2009 16th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, ICECS 2009. 2009;p. 507–510. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5410881>.
- [60] Yu G, Pakbaz K, Heeger AJ. Optocoupler made from semiconducting polymers. Journal of Electronic Materials. 1994;23(9):925–928. Available from: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2FBF02655366.pdf>.
- [61] Emory I, Stewart E. United States Patent 1191; 1976.

-
- [62] IFM. PA3022 [Technical Datasheet];. Available from: http://tds.ifm-electronic.com/tentacle/br/PA3022.pdf?requestId=f746e47ecb5cecd7&locale=pt_BR.
- [63] IFM. LR3000 [Technical Datasheet]; Available from: http://tds.ifm-electronic.com/tentacle/us/LR3000.pdf?requestId=d2928b43fea4c16e&locale=en_US.
- [64] IFM. TD2297 [Technical Datasheet];. Available from: http://tds.ifm-electronic.com/tentacle/us/TD2297.pdf?requestId=ddfb305ae52764c4&locale=en_US.
- [65] IFM. TA2105 [Technical Datasheet];. Available from: http://tds.ifm-electronic.com/tentacle/aus/TA2105.pdf?requestId=e085d867a2662c24&locale=en_GB.
- [66] IFM. PA3021 [Technical Datasheet];. Available from: http://tds.ifm-electronic.com/tentacle/br/PA3021.pdf?requestId=2ef378ad004dfb52&locale=pt_BR.
- [67] IFM. PT5404 [Technical Datasheet];. Available from: http://tds.ifm-electronic.com/tentacle/my/PT5404.pdf?requestId=18f080f7ab990170&locale=en_GB.
- [68] VISHAY. IL300 Linear Optocoupler [Technical Datasheet];. Available from: <https://www.vishay.com/docs/83622/il300.pdf>.
- [69] Bin K. Vishay Semiconductors Linear Optocoupler , High Gain Stability , Wide Bandwidth;(1):1–11. Available from: <https://www.vishay.com/docs/83622/il300.pdf>.
- [70] Group R. Les normes WIFI utilisées actuellement chez Renault Préconisation WIFI v1 . 5 pour les Usines Norme du WIFI Indus. Renault Group; 2016.
- [71] The Apache Software Foundation. The Apache HTTP Server Project;. [Accessed on: 2017-11-15]. Available from: <https://httpd.apache.org/>.
- [72] IFM. TR2432 [Technical Datasheet]; 2017. Available from: http://tds.ifm-electronic.com/tentacle/us/TR2432.pdf?requestId=d79da92d846c8365&locale=en_US.
- [73] Atmel. ATmega328 / P [Technical Datasheet]; 2016. Available from: www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf.

Apêndice A

Placa de aquisição de sinais analógicos (Arduino e ESP8266)

A.1 Hardware

A.1.1 Arduino Nano

O Arduino Nano, com base no microcontrolador Atmel ATmega328, foi desenvolvido com o objetivo de criar uma plataforma Arduino que fosse pequena e facilmente aplicável em *breadboards*, ao mesmo tempo que se mantia uma solução completa[73]. Possui um total de 8 pinos de entradas analógicas com 10 bits de resolução e 14 de saídas digitais. Desta forma é atribuído a este componente uma potencial aplicabilidade em soluções de recolha de dados analógicos.

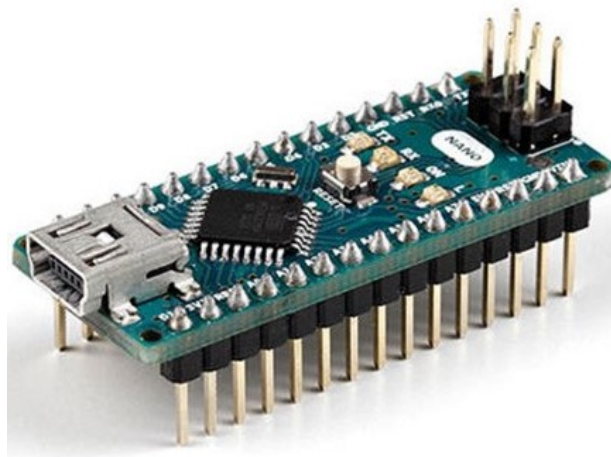


Figura A.1: Arduino Nano

Tabela A.1: Características técnicas Arduino Nano (Adaptado de [4])

Micro-controlador	ATmega328
Voltagem de funcionamento	5 V
Memória Flash	32 KB
SRAM	2 KB
Velocidade de relógio	16 MHz
Pinos I/O analógicos	8
EEPROM	1 KB
Corrente DC por pino I/O	40 mA
Voltagem de alimentação	7-12 V
Pinos I/O digitais	22
Consumo	19 mA
Tamanho	18 x 45 mm

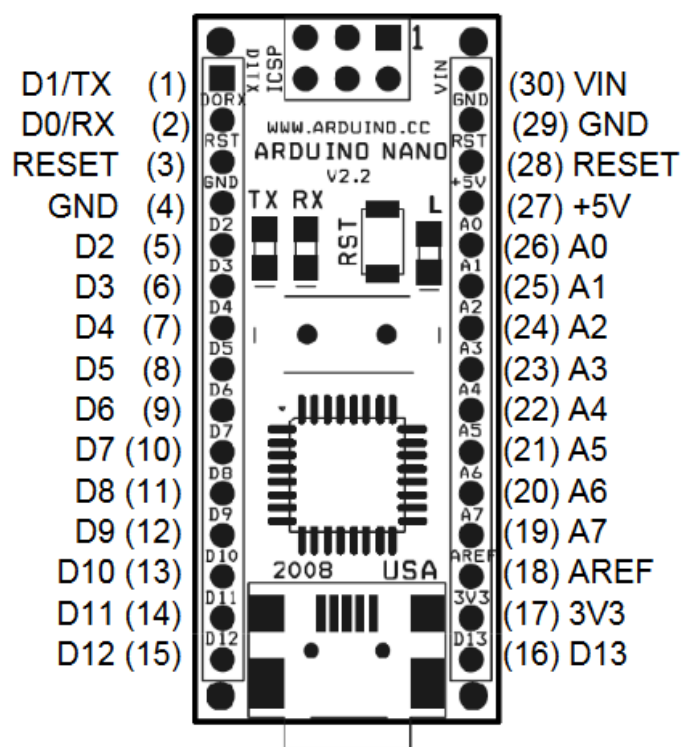


Figura A.2: Pinout Arduino Nano [18]

A.1.2 ESP8266

O ESP8266 é um micro-controlador desenvolvido pela *Espressif Systems*, uma empresa chinesa com base em Shanghai. O aparecimento deste micro-controlador veio preencher as necessidades deste tipo de dispositivos no que à ligação Wi-Fi diz respeito, podendo servir de ponte entre outros dispositivos e este tipo de ligações, ou até mesmo executar aplicações desenvolvidas de uma forma nativa[19].

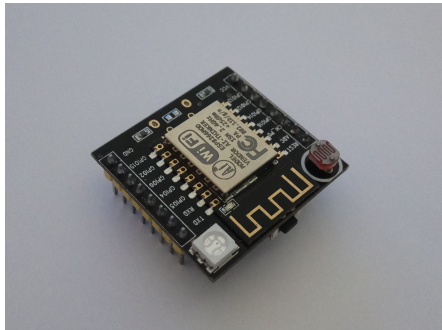


Figura A.3: ESP8266 E12 acoplado em placa de expansão

Tabela A.2: Características técnicas ESP8266

Alimentação	3.3V
Consumo de corrente	10uA - 170mA
Memória flash	16MB max (512k normal)
Processador	Tensilica L106 32 bit
Velocidade do processador	80-160 MHz
Memória RAM	32K + 80K
GPIO's	17
Entradas analógicas	1 entrada com 10 bits de resolução
Suporte Wi-Fi 802.11	b/g/n/d/e/i/k/r

Para o caso do modelo E16 com placa de expansão para *breadboard*, a alimentação poderá exceder o valor apresentado na tabela anterior, uma vez que a placa contém um circuito de regulação de tensão de alimentação. Desta forma admite-se que os valores do intervalo de alimentação neste caso são idênticos ao do Arduino Nano abordado anteriormente.

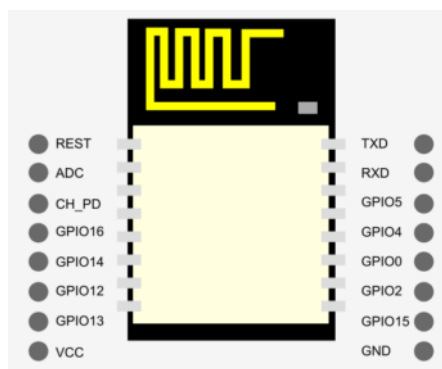


Figura A.4: Pinout ESP8266 E12[19]

A.2 Esquema Electrico

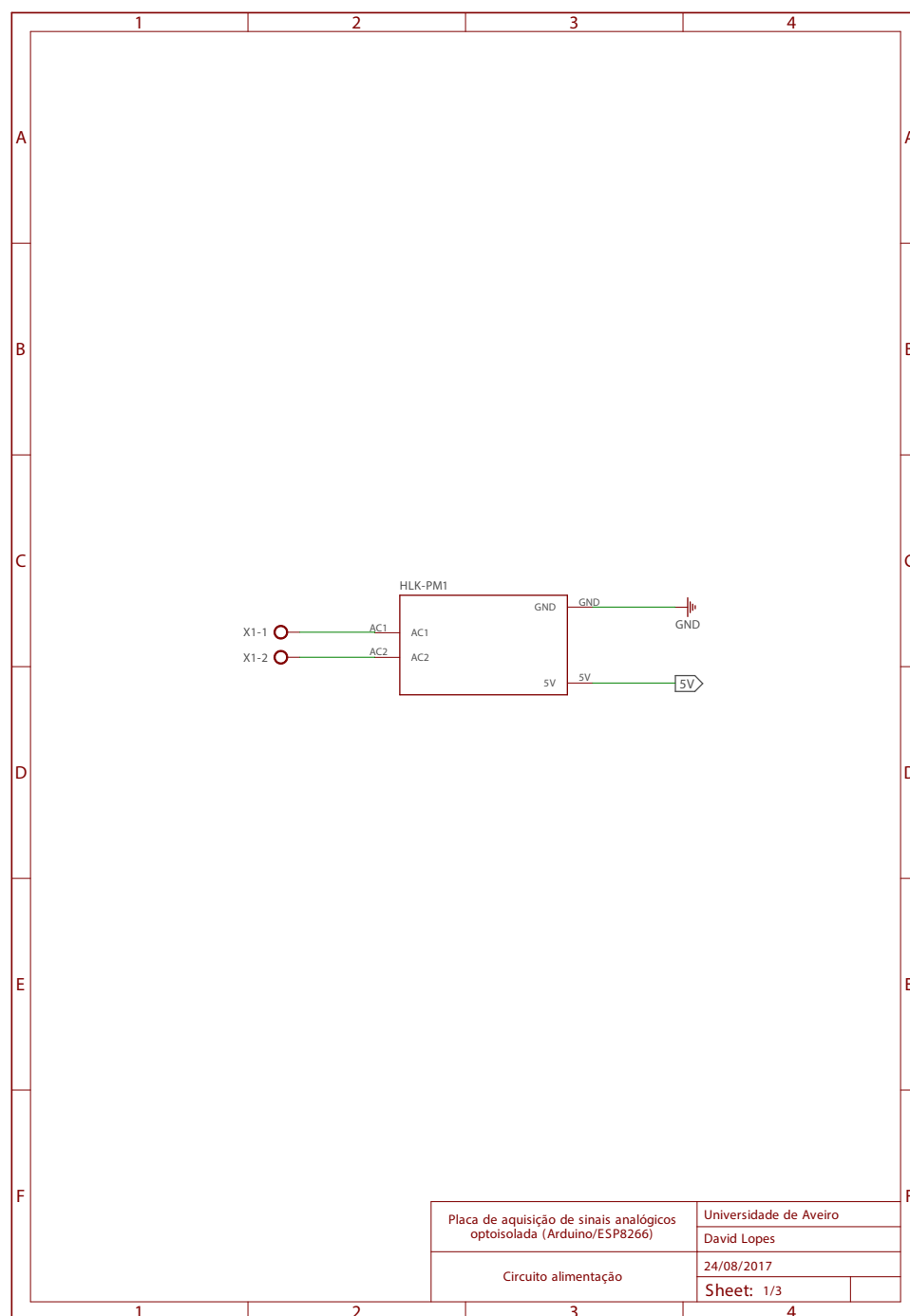


Figura A.5: Circuito de alimentação do protótipo Arduino - ESP8266

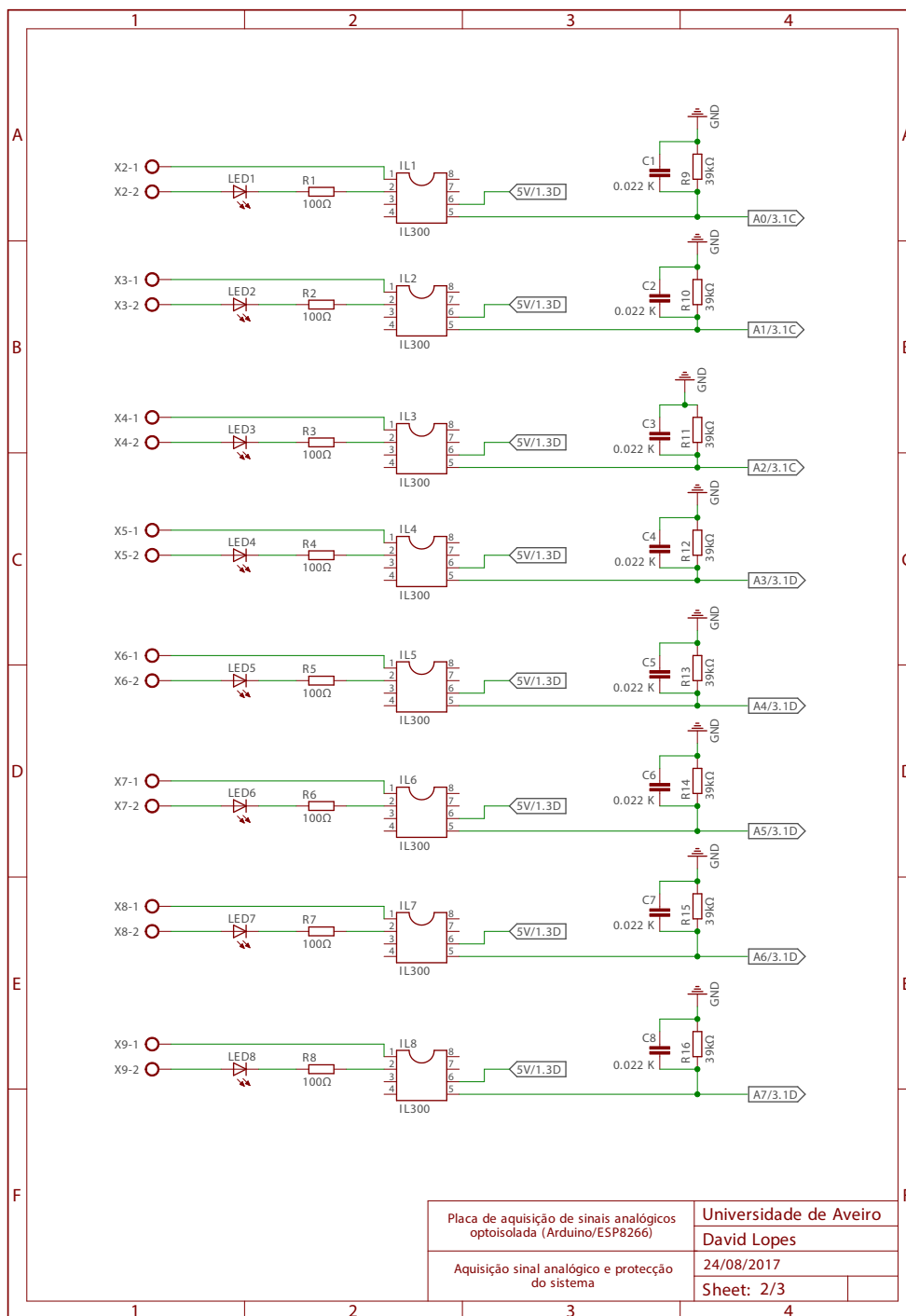


Figura A.6: Circuito de entradas analógicas do protótipo Arduino - ESP8266

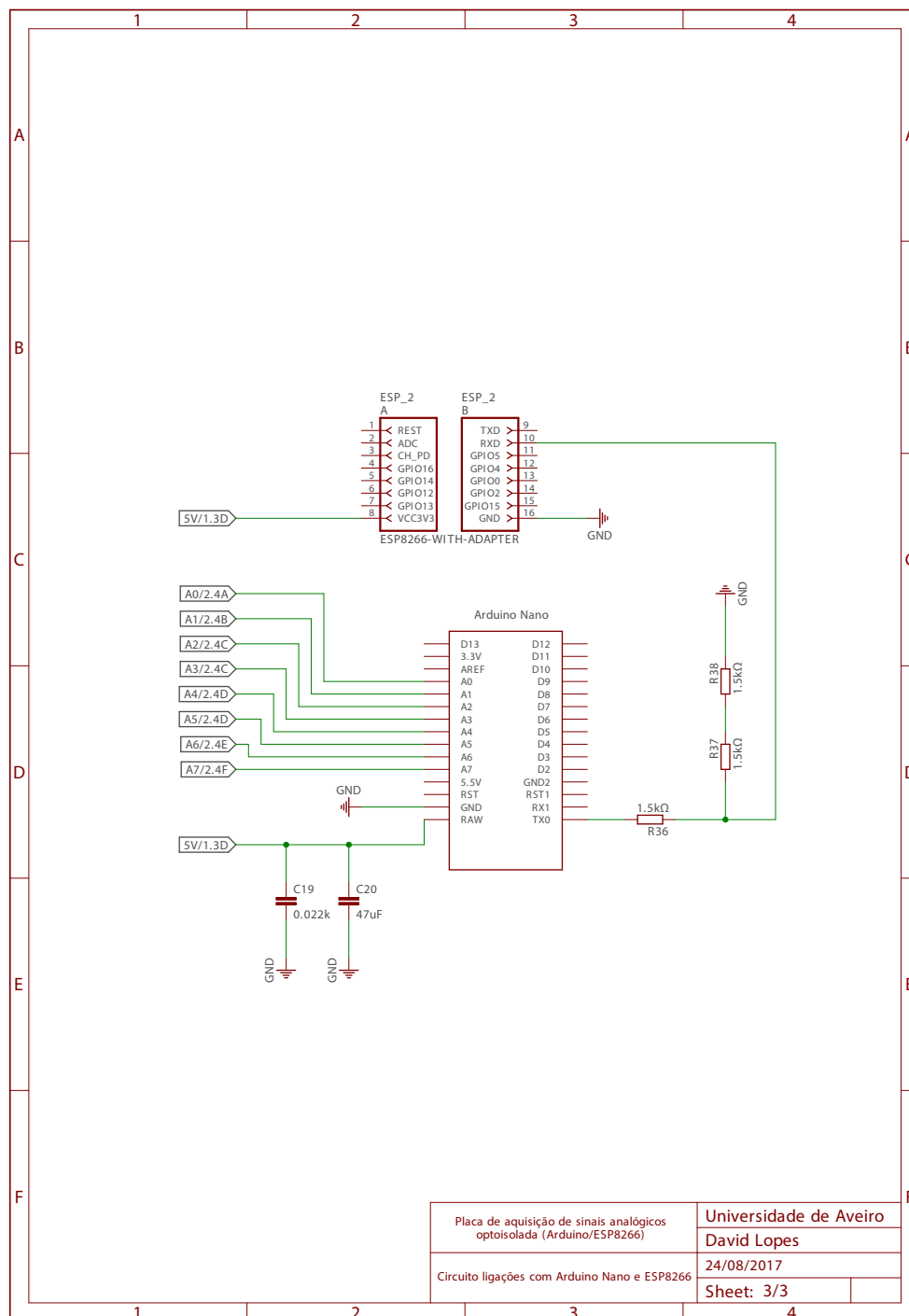


Figura A.7: Circuito de ligações entre *hardware* do protótipo Arduino - ESP8266

Apêndice B

Placa de Aquisição de Sinais Analógicos (Raspberry Pi3)

B.1 Hardware

B.1.1 Raspberry Pi 3

O Raspberry pi é um computador de tamanho extremamente reduzido, baseado num sistema "*system on a chip*" (SoC), desenvolvido pela Fundação Raspberry Pi com o objectivo de fornecer uma solução acessível, compacta e versátil para diversos tipos de aplicações. A terceira versão do Raspberry Pi modelo B, vem equipada com um processador quad-core ARM Cortex A53 (ARMv8) de 1.2GHz, 1 Gb de memória RAM, Wi-Fi, *Bluetooth*, 4 portas USB, uma porta para ligação *ethernet*, uma entrada HDMI e 40 GPIO's estando a memória interna dependente de um cartão Micro-SD.



Figura B.1: Raspberry Pi 3

A alimentação é feita a 5 Volts na entrada Micro-USB reservada, ou directamente nos pinos do equipamento. Este pequeno computador suporta um conjunto de sistemas operativos desenvolvidos especificamente para este tipo de *hardware*, tais como o *Debian*, *Ubuntu Mate* (usado no decorrer do projecto), *Windows IoT*, entre outros.

A disposição dos 40 GPIO's encontra-se representada na figura seguinte:

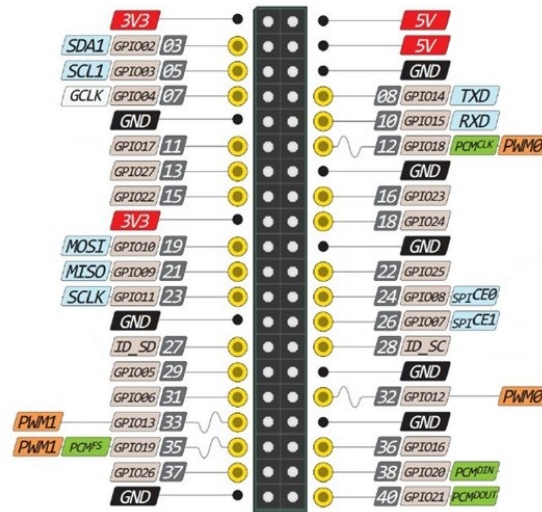


Figura B.2: Pinout Raspberry Pi 3 (Adaptado de [20])

Como se pode verificar, existem pinos reservados para certas funções, sendo dado particular destaque às portas de comunicação SPI e porta série.

B.1.2 MCP3008

O MCP3008 é uma ADC (Analog Digital Converter) que tal como o nome indica, converte tensões analógicas em sinal digital. Ao todo este modelo possui 8 entradas analógicas numeradas de CH0 a CH7, com 10 bits cada, onde são aplicadas nas suas entradas[5].

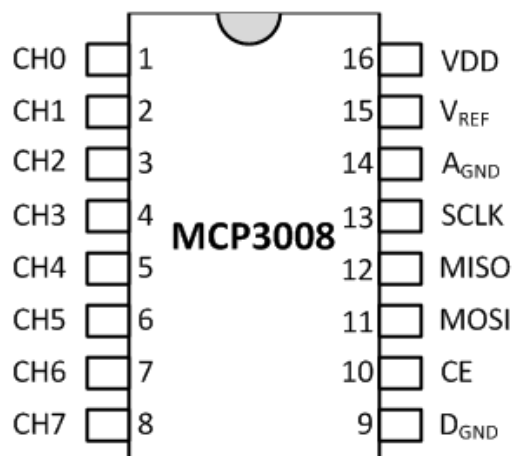


Figura B.3: Pinout MCP3008 (Adaptado de [5])

Tabela B.1: Pinos do chip MCP3008 [5]

Nome	Função
Vdd	+2.7V to 5.5V power supply
DGND	Digital ground
AGND	Analog ground
CH0-CH7	Analog inputs
CLK	Serial clock
Din	Serial data in
Dout	Serial data out
CS/SHDN	Chip select / Shutdown input
Vref	Reference voltage input

Alimentação

A alimentação desta ADC é feita nos pinos Vdd e Dgnd com uma tensão fixa e estável entre os 2,7 a 5,5 Volts. Esta tensão estabelece também o máximo para a velocidade de leitura da ADC, sendo que para o valor de 2,7 Volts se regista uma velocidade máxima de 75 ksps (*kilosample(s) samples per second*) e para 5 Volts 200 ksps[5].

Leitura analógica

Na entrada Vref é aplicada uma tensão que serve de referencia para os valores que são recolhidos nas diferentes entradas analógicas, desta forma, a tensão aplicada em cada uma destas entradas analógicas não deve exceder a tensão aplicada neste pino. Supondo um Vref de 5 Volts e a resolução de 10 bits, a resolução de leitura será de 4.88 mV para cada unidade da escala de 0 a 1024.

Comunicação SPI

A comunicação com este *chip* é feita via protocolo SPI, através dos pinos dedicados. Esta comunicação, tal como abordado na secção 3.4.5, é feita através do envio e recepção de "mensagens" com igual tamanho, sincronizadas segundo um determinado *timing* de comunicação, dependente das características do dispositivo de leitura. Desta forma, a aquisição das leituras nas diferentes entradas pressupõe um conjunto de mensagens distintas a enviar à ADC.

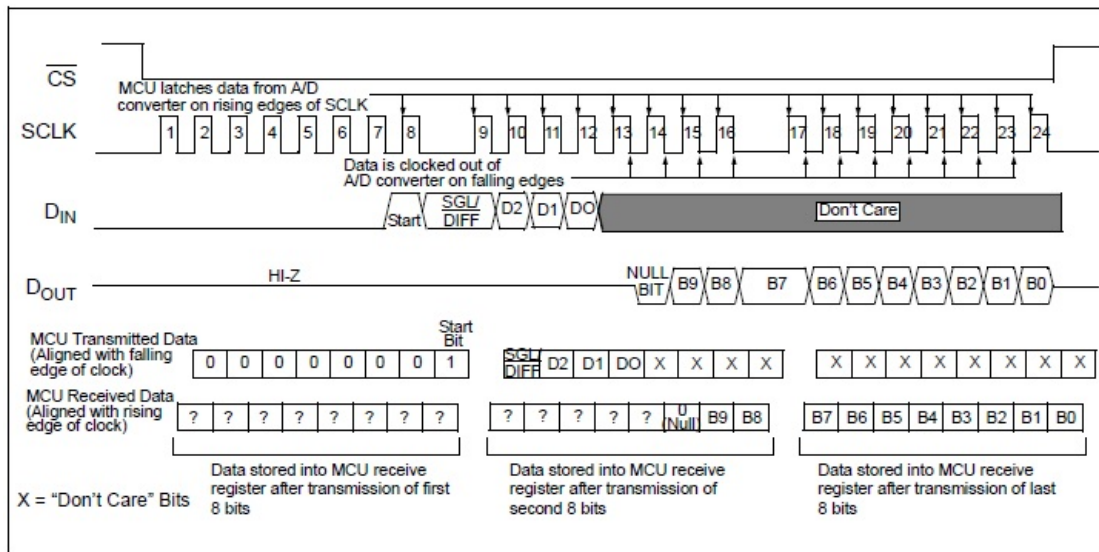


Figura B.4: Timing de comunicação SPI com MCP3008 [5]

A mensagem enviada para o MCP3008 é composta por 3 bytes, onde os primeiros 12 bits são usados na configuração da mensagem a receber, enquanto que os últimos 12 bits são *don't care*, servindo apenas para definir o tamanho da mensagem de resposta. Durante a transmissão dos 3 bytes a entrada *Chip Select* (CE na figura B.3) do MCP3008 terá de registar o valor de zero. No final da transmissão, a entrada CS volta a 1 e a linha de relógio SCLK permanece inativa a 0V.

O exemplo seguinte foi elaborado para a aquisição da leitura na entrada CH0, sendo apresentada a mensagem SPI a enviar para que o valor pretendido seja dado na resposta.

Para obter o valor da entrada CH0, os 3 bytes enviados para a ADC são:

- Hexadecimal: 0x01 / Binário: 0000 0001
- Hexadecimal: 0x80 / Binário: 1000 xxxx
- Hexadecimal: 0x00 / Binário: xxxx xxxx

Onde os caracteres "x" representam bits *don't care*, ou seja, que não têm qualquer tipo de influência na configuração da mensagem.

Tendo em conta o valor hexadecimal 0x80 e o respectivo valor em binário, temos que o primeiro bit com o valor "1" representa o tipo de leitura, *single-ended* onde o valor registado em cada entrada é comparado com o Vref, ou *differential*, onde os canais CH actuaem como entradas que são comparadas entre si. Desta forma, é usada a comunicação *single-ended* no protótipo desenvolvido.

Na figura B.5 encontram-se listados os valores para os quatro bits de seleção de cada uma das oito entradas analógicas.

Control Bit Selections				Input Configuration	Channel Selection
Single /Diff	D2	D1	D0		
1	0	0	0	single-ended	CH0
1	0	0	1	single-ended	CH1
1	0	1	0	single-ended	CH2
1	0	1	1	single-ended	CH3
1	1	0	0	single-ended	CH4
1	1	0	1	single-ended	CH5
1	1	1	0	single-ended	CH6
1	1	1	1	single-ended	CH7

Figura B.5: Tabela de seleção de entradas analógicas para MCP3008 em modo *single-ended* (Adaptado de[5])

Na figura seguinte encontra-se representado o resultado de um teste elaborado com o auxílio de um osciloscópio digital para captar e analisar os diferentes sinais trocados durante a comunicação com o chip MCP3008. Desta forma, o sinal de relógio SCLK encontra-se representado a azul e o sinal de dados recebidos no pino MOSI do MCP3008 a vermelho. Como se pode observar existe um total de 24 pulsos do relógio, havendo duas subidas do canal MOSI, correspondendo aos dois bits com o valor "1" que se pretendia enviar.

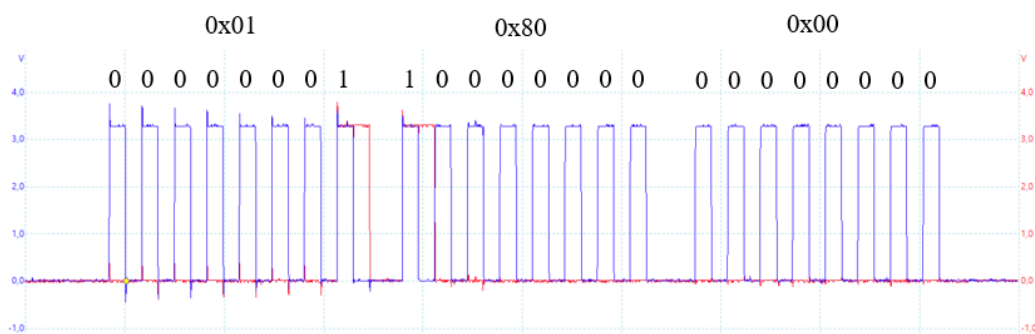


Figura B.6: Diagrama temporal com mensagem enviada para o MCP3008 e respectivos pulsos nos canais SCLK e MOSI

Na figura B.7 o canal SCLK encontra-se representado a azul, no entanto agora o canal representado a vermelho é o MISO, contendo a resposta do slave. Pode-se verificar que tal como descrito anteriormente na figura B.4, a resposta do *chip* é dada a partir do 14º bit recebido.

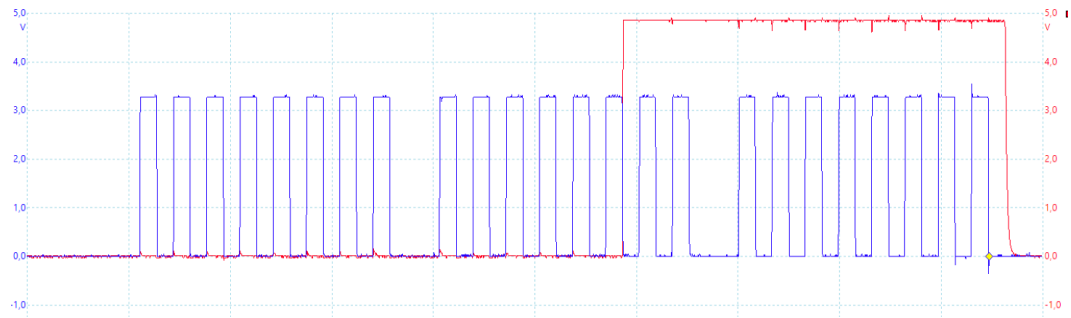


Figura B.7: Diagrama temporal com mensagem enviada para o MCP3008 e respectivos pulsos nos canais SCLK e MISO

B.2 Esquema electrico

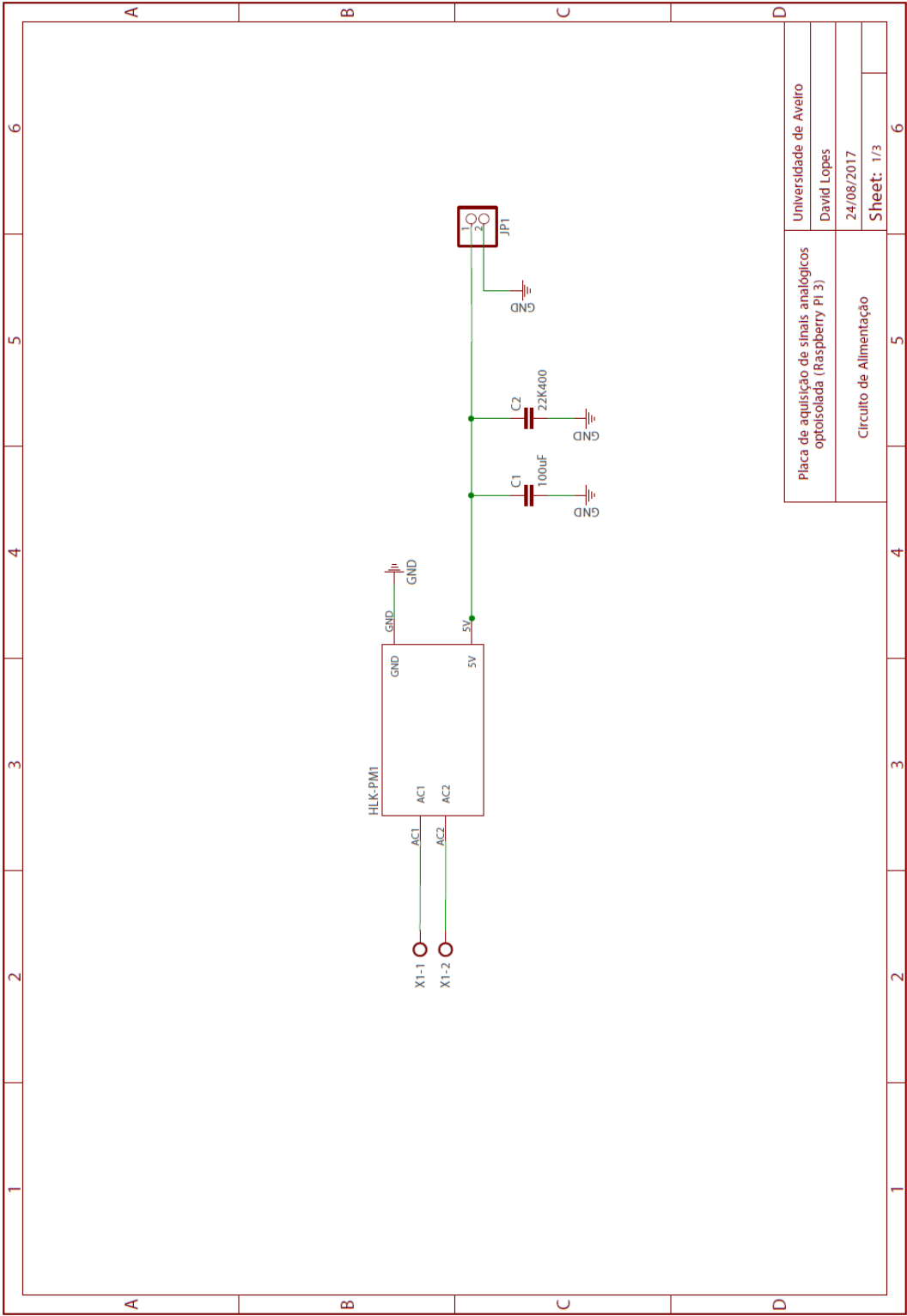


Figura B.8: Circuito de alimentação do protótipo RPi 3 - MCP3008

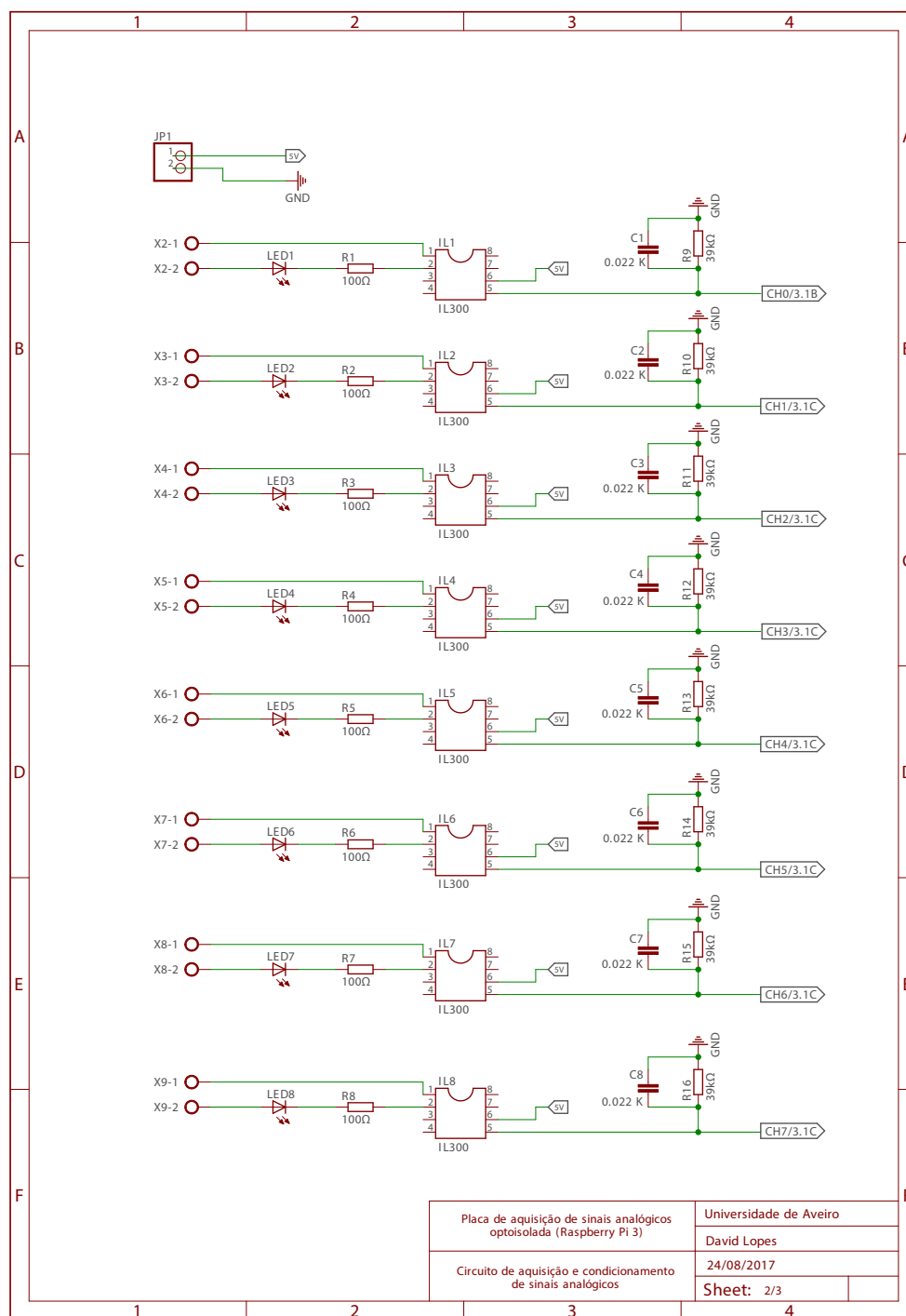


Figura B.9: Circuito de entradas analógicas do protótipo RPi 3 - MCP3008

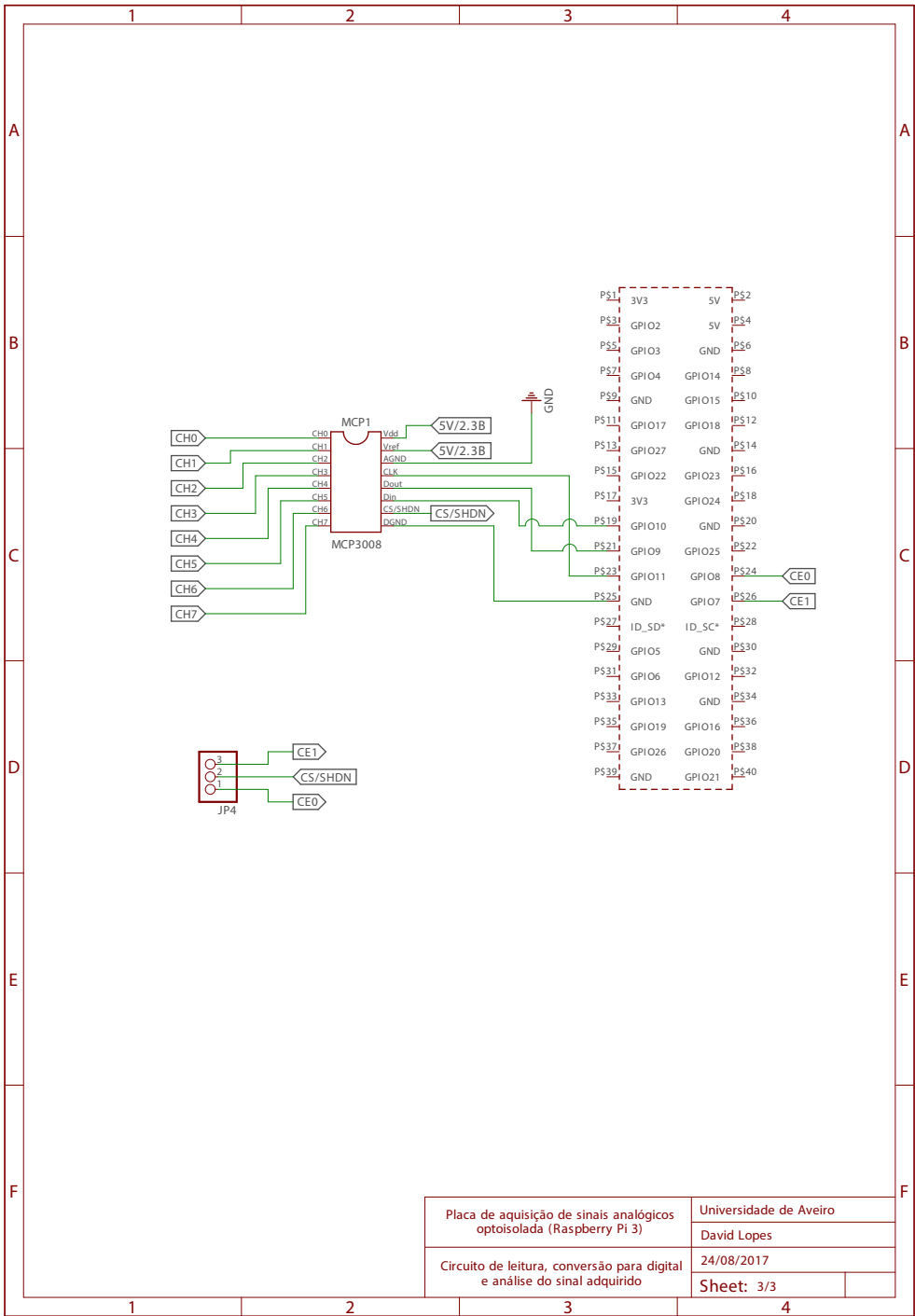


Figura B.10: Circuito de ligações entre *hardware* do protótipo RPi - MCP3008